

Paweł Skoczylas*, Olgierd Goroch, Mieczysław Kaczorowski

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Produkcji, ul. Narbutta 85, 02-524 Warszawa, Poland

* Corresponding author. E-mail: pskocz@imik.wip.pw.edu.pl

Otrzymano (Received) 17.02.2010

KOMPOZYT PROSZEK WOLFRAMOWY-TWORZYWO TERMOPLASTYCZNE

Omówione w artykule wyniki są kontynuacją wcześniejszych badań opublikowanych w nr 2/2009 niniejszego czasopiśma, gdzie autorzy przedstawili wyniki badań kompozytu żywica termoutwardzalna-proszek wolframowy jako zamiennika ołowiu w wybranych wyrobach. Opisano metodę przygotowania mieszanek zawierających 2, 3 i 4% wag. żywicy termoutwardzalnej Epidian 100 z proszkami wolframowymi o wielkości cząstek 0,8; 3,2 lub 50 μm [FSSS]. Oceniono wpływ procentowej ilości żywicy oraz wielkości ziaren proszku wolframowego na prasowalność i porowatość wytworzonych wyprasek oraz ich jednorodność i wytrzymałość na ściskanie.

W ciągu ostatniej dekady ołów został zaliczony do grupy 20 najbardziej toksycznych materiałów. Z tego powodu prowadzone są badania nad nowymi materiałami zastępującymi ołów. W artykule przedstawiono badania dotyczące sposobu wytwarzania i właściwości kompozytu tworzywo termoplastyczne-proszek wolframowy. Do badań użyto handlowego tworzywa termoplastycznego polistyrenu wysokoudarowego Owispol 825 i proszków wolframowych o ziarnistości 0,8; 3,2 i 50 μm . W badaniach wytworzono mieszaniny zawierające 3,0; 3,5 i 4,0% wag. polistyrenu (Owispol 825). Mieszanki proszków wolframu z polistyrenem wytwarzano metodą mieszania na mokro, sucho lub na gorąco w temp. 220°C. W celu poprawy syplkości mieszanki zostały zgranulowane. Przeprowadzono badania prasowalności i gęstości. Oceniono wpływ ziarnistości proszku wolframowego oraz ilości tworzywa termoplastycznego na wytrzymałość na ściskanie i jednorodność wykonanych wyprasek. Kształtki powstałe podczas prasowania w temp. pokojowej miały zbyt niską gęstość i kruszyły się nawet przy prasowaniu pod dużymi ciśnieniami. Po prasowaniu w temp. 170°C pod ciśnieniem 50+200 MPa otrzymano kształtki o gęstości w zakresie 7,4+12,0 Mg/m³.

Granulaty otrzymane z drobnego proszku wolframowego 0,8 μm okazały się nieprzydatne do wytwarzania kompozytów o gęstości zbliżonej do gęstości ołowiu, tj. 11,3 Mg/m³. Odpowiedniej gęstości wyprasek nie udało się uzyskać podczas formowania przy maksymalnym ciśnieniu 500 MPa w temp. 170°C. Granulaty wykonane na bazie proszku gruboziarnistego sferoidalnego 50 μm charakteryzowały się bardzo dobrą prasowalnością na gorąco. Kształtki o wymaganej gęstości uzyskano z granulatu o składzie 96,5% proszku W i 3,5% Owispolu 825 podczas formowania pod ciśnieniem 60 MPa. Granulaty z proszkiem wolframowym o ziarnistości 3,2 μm i 3,5% zawartością Owispolu 825 pozwalają na otrzymanie kształtek o gęstości ok. 11,3 Mg/m³ przy ciśnieniu 20 MPa. Przeprowadzone próby wytrzymałości na ściskanie wykazują, iż wytrzymałość kształtek zależy od ziarnistości proszku wolframowego i zawartości tworzywa termoplastycznego w mieszanke. Zaproponowane kompozyty o składzie tworzywo termoplastyczne-proszek wolframowy mogą być właściwe w specjalnym zastosowaniu jako zamiennik ołowiu.

Słowa kluczowe: kompozyty, mieszanina wolfram-polimer, wolfram, prasowanie, gęstość, wytrzymałość na ściskanie

COMPOSITE TUNGSTEN-THERMOPLASTIC

This investigation are continuation of previously work publicated KOMPOZYTY no. 2/2009. Investigation of manufacturing composite polymer-tungsten powder were presented commercial resin (Epidian 100) and tungsten powders with grain size 0.8, 3.2, 50 μm FSSS were used. Mixtures containing 2, 3, 4% of resin were used. Influence of the size tungsten powders and content of the resin on density, porosity, compressive strength composite were determined.

Through the centuries lead found wide application in various fields of human lives. Lead and its alloys were used as joining components of structure. An unquestioned advantage of lead, from the point of view of its processing is relatively low melting point. Lead is widely used also now in mass manufacture of products. These are car batteries, solders in electronics, weights, core of projectiles (ammunition), etc. Recently, increasing attention has been paid to harmful influence of lead on living organism, and susceptibility of lead to become accumulated in human bodies. Lead can be introduced into an organism simultaneously with food it can be inhaled or absorbed through the skin. Lead attacks the central nervous system, kidneys, system of vessels and red blood cells. The removed of lead from the organism is a difficult process. Over the last decade lead has been included into the group of 20 most toxic substances. Following this fact, in some scientific centers around the world the research of new materials to substitute lead has been undertaken.

Investigation of manufacturing composite polymer-tungsten powder were presented commercial thermoplastic (Owispol 825) and tungsten powders with grain size 0.8, 3.2, 50 μm were used. The mixtures contain 3.0; 3.5 and 4.0% weight polystyrene Owispol 825. The mixtures was made by dry mixing method, wet method and in temperatures 220°C. The mixtures was next granulated. Density, porosity, compressive strength composite were examined. Influence of the size tungsten powders and content of polystyrene on density, porosity, compressive strength and homogeneity were determined. The density of the green compact after pressing in room temperature was not useless. Granulated product after moulding of range 20-130 MPa in temperature 170°C was useful to obtain green compact with density 11.3 Mg/m³. Granulated product with tungsten powder size of 0.8 μm was useless to receive green compact with density 11.3 Mg/m³. The granulate made of tungsten powder with grain size of 50 μm characterized good compressibility. This method enable to receive density composite

11.3 Mg/m³ containing 96.5% tungsten powder and 3% Owispol 825 under a load 60 MPa. The granulate with tungsten powder size of 3.2 μm and 3.5% polystyrene under a load 20 MPa gives parts with density of 11.3 Mg/m³. It has been shown that proposed method, is a good substitute of lead for special applications can be manufactured.

Keywords: composite, mixture tungsten-thermoplastic, tungsten powder, pressing, density, compressive strong

WSTĘP

Ołów ze względu na niską temperaturę topnienia, wysoką gęstość i łatwość przetwarzania wykorzystywany jest w wielu gałęziach przemysłu. Znajduje wiele zastosowań, wśród których wystarczy m.in. wymienić: akumulatory, lutowia, rury, osłony radiacyjne, elementy do wyważania czy wreszcie pociski. Ołów jest jednak materiałem silnie toksycznym, stąd też jego ilość jest ściśle limitowana w powietrzu, ziemi i roślinności. Zawartość ołowiu jest również precyzyjnie limitowana w benzynie bezołowiowej, farbach i generalnie jest niedopuszczalna w kontakcie z człowiekiem [1]. W ostatnich latach ilość używanego ołowiu została znacznie ograniczona w paliwach, farbach, wyrobach ceramicznych i szklarskich.

Ołów przedostaje się do organizmu człowieka przez wdychanie czy połykanie. Woda miękka w obecności powietrza reaguje z ołowiem, tworząc trujący związek, który może być przyczyną zatrucia ołowiem, tzw. ołowicą. Może działać na prawie wszystkie organy i systemy ciała człowieka, w szczególności u dzieci. Uszkadza nerki, system nerwowy i reprodukcyjny, powoduje niedowład palców, wpływa na pamięć, może być przyczyną anemii i innych chorób krwi. Dlatego też w wielu krajach prowadzone są badania nad zastąpieniem ołowiu materiałami o odpowiednich właściwościach użytkowych, które nie stanowią zagrożenia, jakie niesie za sobą Pb. Podstawowym założeniem, którym należy kierować się przy wyborze zamiennika ołowiu, jest uzyskanie materiału, którego zastosowanie nie spowoduje istotnych zmian parametrów technicznych produkowanych wyrobów. Do najważniejszych cech tego rodzaju materiału należy zaliczyć:

- gęstość zbliżoną do gęstości ołowiu, tj. ok. 11,3 Mg/m³,
- łatwe przetwarzanie i kształtowanie,
- właściwości mechaniczne porównywalne lub lepsze od właściwości ołowiu,
- nietoksyczność i nieszkodliwość dla zdrowia,
- brak rozpuszczalności w wodzie,
- brak składników kancerogennych,
- możliwie niska cena.

Analiza literatury wskazuje, że zdecydowana większość prac nad ekologicznym zamiennikiem ołowiu dotyczy materiałów kompozytowych [1]. Jednym ze składników takich kompozytów jest zazwyczaj wolfram, jego spieki lub węgliki spiekane. Drugim składnikiem jest osnowa kompozytu, najczęściej polimerowa lub z metalu o stosunkowo niskiej temperaturze topnienia. Dobór odpowiedniej ilości składników kompozytu umożliwia uzyskanie materiału o założonej gęstości, którą można

zmieniać w szerokim zakresie. Zaletą wolframu jest jego nietoksyczność, bardzo duża gęstość, dobre właściwości mechaniczne, również w temperaturze podwyższonej, oraz jeden z najmniejszych wśród metali współczynnik rozszerzalności cieplnej [2].

Mała gęstość polimerów powoduje, iż udział proszku wolframowego w tych kompozytach przekracza 90% wag., co ma ogromny wpływ zarówno na właściwości fizyczne, jak i technologiczne mieszanki.

Z punktu widzenia materiałów, które miałyby być zamiennikami Pb w elementach pocisków, najbardziej interesujący jest kompozyt o zawartości wolframu nieco większej niż 96%, ponieważ gęstość takiego kompozytu byłaby równa gęstości ołowiu [3]. Generalnie do wytwarzania kształtek z kompozytów stosowane są technologie prasowania na zimno, wytłaczania na gorąco i wtrysku [4].

Najważniejszą operacją jest mieszanie proszku metalowego z polimerem. Mieszanie proszku z ciekłym polimerem może być prowadzone na sucho lub na mokro i ma zapewnić jednorodne rozproszczenie proszku w ilości gwarantującej uzyskanie gęstości kompozytu w granicach 11,3 Mg/m³. Pewną przewagą kompozytów z napełniaczem polimerowym w porównaniu do metalowych jest możliwość kształtowania z wykorzystaniem urządzeń stosowanych w przetwórstwie tworzyw sztucznych [5, 6].

Mieszanie tworzywa z proszkiem metalowym jest jedną z najtrudniejszych operacji podczas wytwarzania tego rodzaju kompozytów. Problem polega na tym, iż handlowego granulatu tworzywa o kilkumilimetrowej wielkości cząstek nie można mieszać bezpośrednio z proszkiem metalowym o wielkości cząstek 2÷5 μm. Najczęściej stosowanym zabiegiem jest rozpuszczenie tworzywa w odpowiednim rozpuszczalniku, np. toluenie, a następnie sukcesywne wprowadzanie do ciastowatej masy ustalonej dawki proszku metalowego.

W celu poprawy syfkości mieszanek ważne jest przeprowadzenie operacji granulowania, pozwalającej na zwiększenie powtarzalności gęstości zasypu. Proces granulowania jest szczególnie ważny przy produkcji wyrobów z proszków o wielkości cząstek kilku mikrometrów.

MATERIAŁ BADAWCZY

Do badań nad wytworzeniem kompozytów na podstawie analizy literatury wytypowano (tab. 1):

1. Proszki wolframowe (produkcji firmy Baildonit w Katowicach):
 - a) proszek drobnoziarnisty 0,8 μm FSSS,
 - b) proszek stosowany w produkcji stopów ciężkich o średniej wielkości ziarna 3,2 μm FSSS,
 - c) proszek gruboziarnisty o ziarnie sferoidalnym i średniej wielkości ziarna 50 μm FSSS (rys. 1).
2. Polistyren wysokoudarowy w postaci granulatu pod nazwą Owispol 825 o gęstości 1,05 Mg/m^3 (produkowany przez Firmę Dwory S.A. w Oświęcimiu).

TABELA 1. Charakterystyka proszków wolframowych użytych do badań

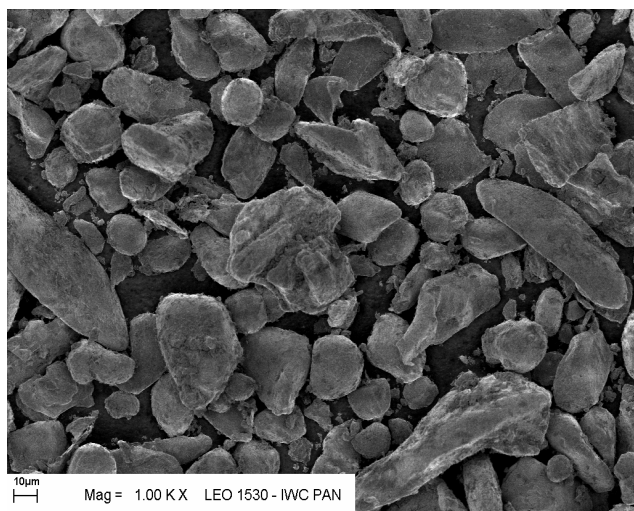
TABLE 1. Characteristic of tungsten powders used to research

Rodzaj proszku	Wielkość cząstek FSSS	Rozkład wielkości cząstek	Gęstość nasypowa	Powierzchnia właściwa
	μm	μm	Mg/m^3	m^2/g
WI	0,8	*D (0,1) - 1,09 **D (0,5) - 8,36 ***D (0,9) - 29,84	2,56	1,8669
WII	3,20	D (0,1) - 3,47 D (0,5) - 11,65 D (0,9) - 30,37	4,23	0,1599
WIII	<50	nie określono	6,34	0,0652

* D (0,1) - określa średnicę 10% cząstek poniżej określonej wartości

** D (0,5) - mediana średnicy odnosząca się do objętości (v)

*** D (0,9) - określa średnicę 90% cząstek poniżej określonej wartości



Rys. 1. Obraz mikroskopowy proszku wolframowego o średniej wielkości cząstek 50 μm

Fig. 1. Microstructures of tungsten powder size 50 μm

Do badań przygotowano mieszanki zawierające poszczególne proszki wolframu z dodatkiem 3,0; 3,5 i 4,0% wag. zawartością polistyrenu Owispol 825. Granulaty zawierające 3 i 3,5% wag. polistyrenu przygotowano metodą mieszania „na mokro” lub mieszania na sucho. Granulat zawierający 4% wag. polistyrenu przygotowano metodą mieszania na gorąco (tab. 2).

TABELA 2. Skład mieszanek proszek wolframowy-tworzywo termoplastyczne

TABLE 2. Mixture composition tungsten powder-thermoplastic

Zawartość wolframu	Zawartość polistyrenu		Gęstość teoretyczna	Porowatość przy gęstości 11,3 Mg/m^3
	% wag.	% obj.	Mg/m^3	%
97,0	3,0	36	12,7	11,0
96,5	3,5	40	12,0	5,8
96,0	4,0	44	11,4	0,8

Kompozyt o zawartości 3,5% polistyrenu ma gęstość teoretyczną mieszaniny 12,0 Mg/m^3 . Porowatość kształtki o gęstości 11,3 Mg/m^3 w odniesieniu do gęstości teoretycznej wynosić będzie ok. 6%. Objętość polistyrenu w kształtce kompozytowej wynosi około 40% jej objętości całkowitej. W przypadku kompozytu zawierającego 4,0% polistyrenu gęstość teoretyczna mieszaniny wynosi ok. 11,4 Mg/m^3 . Porowatość kształtki o gęstości 11,3 Mg/m^3 wyniesie ok. 1%, a objętość polistyrenu w kształtce to ok. 44% jej całkowitej objętości. Autorzy przewidywali, iż uzyskanie tak małej porowatości metodą wtrysku może być bardzo trudne.

METODY WYTWARZANIA MIESZANEK

W metodzie na mokro polistyren w ilości potrzebnej do wytworzenia mieszanki był rozpuszczany w toluenie, następnie do roztworu dodawano proszku wolframowego. Po dokładnym wymieszaniu zawiesinę wylewano do plastikowej formy i suszono. Otrzymane w ten sposób płytki kruszono i ucierano w młynku na proszek - granulaty. Operacja granulowania jest niezbędna w celu zapewnienia dobrej sypkości i odpowiedniego zagęszczenia.

W metodzie na sucho granulowanie zostało przeprowadzone na granulatorze walcowym. Aby utworzyć mieszaninę jednorodną, polistyren z proszkiem wolframowym zostały wstępnie rozdrobnione za pomocą młyna sitowego. Po rozdrobnieniu i ujednorodnieniu mieszanka została wsypana do lejka granulatora wyposażonego w podajnik ślimakowy oraz mieszadło. Granulator wyposażony w walce o rowkowanej i radełkowanej powierzchni przekształca surowiec w płytę.

Po etapie prasowania surowiec w postaci płyt jest podawany do rozdrabniarki wyposażonej w sito o wielkości oczek odpowiadającej wielkości ziaren granulatu. Podawane płyty surowca przetwarzane były na granulaty w taki sposób, aby zapobiec rozpadowi cząstek na pył.

Mieszanie na gorąco przeprowadzono, wykorzystując mieszalnik dwuzetowy w temp. 220°C. Zadaniem mieszalnika tego typu jest pokrycie cząstek wolframowych tworzywem termoplastycznym, rozbitcie aglomeratów cząstek oraz ujednorodnienie mieszanki.

Proces mieszania rozpoczynano przez roztopienie odpowiedniej ilości tworzywa w podwyższonej tempe-

raturze, po czym sukcesywnie dodawano odważonych porcji proszku wolframowego. W wyniku takiego procesu otrzymywano mieszanę - granulatu o cząstkach od bardzo drobnych, o średnicy poniżej 1 mm, do grubych o średnicy nawet do kilku milimetrów. Granulat taki może być wykorzystany do wytwarzania kształtek metodą wtrysku.

PRASOWANIE GRANULATU

W pierwszym etapie badań przeprowadzono próby prasowania granulatu w temp. pokojowej.

Odmierzone porcje o masie 6,50 g poszczególnych granulatu zostały poddane prasowaniu przy różnych ciśnieniach w formie metalowej na kształtki o średnicy 8 mm. Celem badania było określenie minimalnej wartości siły potrzebnej do uzyskania kształtki o gęstości równej gęstości ołowiu, tj. $11,3 \text{ Mg/m}^3$.

Kształtki z granulatu otrzymanych metodą mieszania na sucho po prasowaniu miały małą wytrzymałość (kruszyły się podczas wypychania z formy) i zbyt małą gęstość w stosunku do założonej. Kształtki z granulatu otrzymanych metodą mieszania na „mokro” oraz na gorąco po prasowaniu miały wystarczającą wytrzymałość, lecz zbyt małą gęstość w stosunku do założonej nawet przy stosowaniu wysokich ciśnień. Z tego też względu odstąpiono od dalszych prób formowania tymi metodami. Przykładowe wyniki prasowania w temp. pokojowej przedstawiono w tabeli 3.

TABELA 3. Wpływ ciśnienia prasowania w temp. pokojowej na gęstość i porowatość kształtek

TABLE 3. Influence pressing in room temperature on density and porosity compact

Ciśnienie prasowania	Gęstość rzeczywista	Gęstość teoretyczna	Porowatość
MPa	Mg/m ³	Mg/m ³	%
W0,8 μm + 3,5% PS			
400	8,43	12.	29,7
500	8,70		27,5
W50 μm + 3,5% PS			
400	10,69	12	10,9
500	10,86		9,5
W3,2 μm + 3,0% PS			
400	10,67	12,7	15,9
500	11,04		13,0
W3,2 μm + 3,5% PS			
400	10,69	12,0	10,9
500	10,92		9,0
W3,2 μm + 4% PS			
400	10,56	11,6	8,9
500	10,57		8,8

Kolejny etap stanowiły próby prasowania granulatu na gorąco. Wstępne próby formowania na gorąco mie-

szanek otrzymanych na mokro umożliwiły ustalenie temperatury prasowania na około 170°C. Temperatura ta zapewniała odpowiednią plastyczność granulatu, a jednocześnie zapobiegała wpływaniu plastycznego granulatu do obszarów pomiędzy stemplem i formą, co mogło powodować zacieranie się formy. Wyniki z prób prasowania granulatu uzyskanych metodą mieszania „na mokro” oraz na gorąco przedstawiono w tabeli 4.

TABELA 4. Wpływ ciśnienia prasowania w temp. 170°C na gęstość i porowatość kształtek

TABLE 4. Influence pressing at temperature 170°C on density and porosity compact

Ciśnienie prasowania	Gęstość rzeczywista	Gęstość teoretyczna	Porowatość
MPa	Mg/m ³	Mg/m ³	%
W0,8 μm + 3,5% PS			
50	7,40	12,0	38,3
200	9,17		23,6
500	10,35		13,7
W50 μm + 3,5% PS			
50	11,49	12,0	4,2
200	11,92		0,6
40	11,28		6,0
W3,2 μm + 3,0% PS			
50	10,63	12,7	16,2
200	11,87		6,5
130	11,30		11,0
W3,2 μm + 3,5% PS			
50	11,73	12,0	2,2
200	11,95		0,4
20	11,25		6,2
W3,2 μm + 4% PS			
50	11,13	11,4	4,0
100	11,40		0
60	11,30		0,8

Proszki drobne ze względu na małą gęstość zasypu i bardzo złą sypkość okazały się nieprzydatne do wytwarzania kompozytów o gęstości zbliżonej do gęstości stopu Pb-Sb, tj. ok. $11,3 \text{ Mg/m}^3$, nawet przy stosowaniu wysokich ciśnień podczas prób formowania.

Granulaty otrzymane z proszku wolframowego o ziarnistości 3,2 μm FSSS zawierające 3, 3,5 i 4% wag. Owispolu 825 charakteryzowały się dobrą prasowalnością i pozwalają na otrzymanie kształtek o założonej gęstości. Wymagana gęstość kształtek zależy od procentowej zawartości tworzywa. Najniższą wartość ciśnienia 30 MPa potrzebną do uzyskania wymaganej gęstości otrzymano na kształtkach z granulatu zawierającego 3,5% wag. Owispolu 825, a najwyższą wartość 130 MPa dla kształtek zawierających 3% tworzywa.

Granulaty wykonane na bazie proszków gruboziarnistych (50 μm) charakteryzowały się bardzo dobrą sypko-

ścią i bardzo dobrą prasowalnością. Kształtki o wymaganej gęstości uzyskano z granulatu o składzie 96,5% proszku W i 3,5% Owispolu 825 podczas formowania pod ciśnieniem 40 MPa.

Prasowanie granulatu o składzie W3,2 μm + 3% wag. polistyrenu pod stałym ciśnieniem 150 MPa (tab. 5) wykazało, iż wraz ze wzrostem temperatury uplastycznienia polimeru siła potrzebna do odpowiedniego zagęszczenia kształtki obniża się.

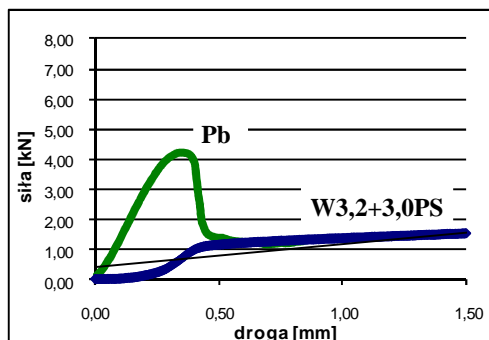
TABELA 5. Wpływ temperatury prasowania granulatu na gęstość i porowatość kształtek

TABLE 5. Influence of temperature on density in constant pressing on density and porosity compact

Ciśnienie prasowania	Temperatura	Gęstość	Porowatość
MPa	°C	Mg/m ³	%
W3,2 μm + 3% wag. PS („na mokro”)			
150	156	11,5	8,3
	200	11,62	7,4
	230	11,7	6,7

W celu oceny własności mechanicznych kształtek otrzymanych w procesie prasowania w temp. 170°C przeprowadzono dodatkowo badania odporności na ściskanie wzdłuż osi próbki. Do badań wytypowano kształtki o gęstości porównywalnej z gęstością ołowiu. W przypadku kształtek zawierających drobny proszek wolframowy 0,8 μm ściskanie przeprowadzono na kształtce uzyskanej przy maksymalnym ciśnieniu 500 MPa i gęstości 10,35 Mg/m³. Pomiary przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 1115 z prędkością trawersy 1 mm/min. Jak wynika z badań zamieszczonych w tabeli 6, wytrzymałość na ściskanie zależy od ziarnistości proszku wolframowego i zawartości polistyrenu. Badania wykazały, iż najniższą wytrzymałość na ściskanie otrzymano na kształtkach zawierających sferoidalny proszek wolframowy. Przy porównaniu wytrzymałości na ściskanie kształtek zawierających proszek wolframowy 3,2 μm i różną zawartość polistyrenu najwyższą wytrzymałość uzyskano przy 4% zawartości polistyrenu. Związane jest to z mniejszą porowatością tej kształtki w porównaniu z kształtką o mniejszej zawartości tworzywa. Niska wytrzymałość na ściskanie kształtek zawierających proszek sferoidalny związana jest z dużą powierzchnią właściwą ziaren wolframowych (tab. 1).

Na rysunku 2 przedstawiono porównawczy wykres z próby ściskania kształtki o gęstości ołowiu wykonanej z granulatu zawierającego proszek wolframowy o ziarnistości 3,2 μm i 3% wag. polistyrenu oraz ołowiu. Z wykresu widać, iż ołów podczas próby ściskania zachowuje się jak materiał sprężysto-plastyczny, podczas gdy kształtka kompozytowa jak materiał plastyczno-kruchy. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie przedstawiono w tabeli 6.



Rys. 2. Wytrzymałość na ściskania kształtki o składzie 97% W (3,2 μm) + 3% polistyrenu oraz ołowiu

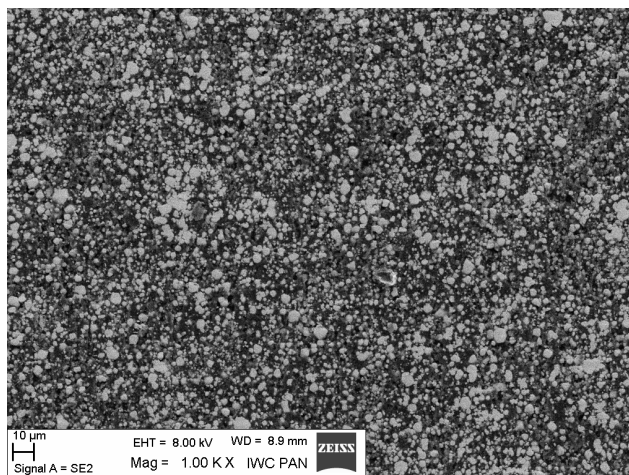
Fig. 2. Compressive strength of composite samples 97% W (3,2 μm) + 3% and lead

TABELA 6. Wpływ ziarnistości proszku wolframowego i zawartości polistyrenu w granulacie na wytrzymałość na ściskanie

TABLE 6. Influence of grain size and content of polystyrene on compressive strength

Skład mieszanki	Gęstość kształtki	Wytrzymałość na ściskanie
	Mg/m ³	MPa
W0,8 μm + 3,5 PS	10,35	5,43
W50 μm + 3,5 PS	11,28	4,95
W3,2 μm + 3,0 PS	11,30	4,25
W3,2 μm + 3,5 PS	11,25	6,78
W3,2 μm + 4,0 PS	11,32	7,98

Wykonano również badania strukturalne za pomocą mikroskopu stereoskopowego, których celem była ocena jednorodności rozkładu proszku wolframowego w kształtce. Na rysunku 3 przedstawiono mikrostrukturę kształtki otrzymanej z proszku wolframowego o ziarnistości 0,8 μm z 3,5% zawartością polistyrenu po procesie prasowania w temp. 170°C przy ciśnieniu 500 MPa. Widoczne jaśniejsze punkty to cząstki proszku wolframowego w szarej osnowie żywicy.



Rys. 3. Mikrostruktura kształtki kompozytowej

Fig. 3. Microstructure of composite sample

Otrzymane kształtki charakteryzują się jednorodnością rozkładu cząstek wolframowych, aczkolwiek w pewnych obszarach kształtki można zauważyć większe aglomeraty cząstek wolframowych.

WNIOSKI

1. Wstępne badania potwierdzają możliwość opracowania technologii wytwarzania ekologicznego kompozytu zawierającego proszek wolframowy i tworzywo termoplastyczne mogącego zastąpić w niektórych zastosowaniach ołów.
2. Zmieniając ilość zastosowanego tworzywa termoplastycznego oraz stosując różne ciśnienia prasowania w zakresie 30÷200 MPa, można w prosty sposób otrzymywać ekologiczne kompozyty o różnej gęstości.
3. Ekologiczne kompozyty przy zachowaniu gęstości ołowiu odznaczają się porowatością w zakresie 1÷11% oraz wyższą od stopu ołowiu wytrzymałością.

4. Badania wykazały nieprzydatność stosowania prasowania granulatu w temperaturze pokojowej.

LITERATURA

- [1] Middleton J.R., Elimination of toxic/hazardous materials from small caliber ammunition, Fifth International Conference on Tungsten, Hard Metals and Refractory Alloys, 2000.
- [2] Stolarz S., Rutkowski W., Wolfram i molibden, PWT19.
- [3] Durkee R.R., Douglas D.W., Development of Lead-free 5,56 mm ammunition using a tungsten/nylon composite materials, Fifth International Conference on Tungsten, Hard Metals and Refractory Alloys, 2000.
- [4] Smorawiński A., Technologia wtrysku, WNT, Warszawa 1984.
- [5] Żuchowska D., Polimery konstrukcyjne, WNT, Warszawa 1995.
- [6] Stręk F., Mieszanie i mieszalniki, WNT, Warszawa 1991.