



## Koncepcja technologii wytwarzania wkładek proszkowych do ładunków kumulacyjnych stosowanych w perforacji odwiertów geologicznych

ZENON WILK\*, BOGDAN ZYGMUNT, ADAM JACKOWSKI

\*Instytut Przemysłu Organicznego, Oddział Krupski Młyn,  
03-236 Warszawa, ul. Annopol 6  
Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki,  
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono technologię otrzymywania proszkowych wkładek kumulacyjnych, również o budowie wielowarstwowej, z wykorzystaniem metody prasowania matrycowego. Właściwości mechaniczne wykonanych wkładek zostały wykorzystane w ładunkach kumulacyjnych do perforacji odwiertów geologicznych. Opisano wyniki wstępnych badań wybranych własności wkładek wykonanych z proszku miedzi i mieszanki proszku miedzi z dodatkiem proszku wolframu. Stwierdzono na podstawie otrzymanych wyników, że proponowana technologia pozwala na otrzymanie wkładek o założonych właściwościach użytkowych.

**Słowa kluczowe:** proszki metali, wkładka kumulacyjna, ładunki do perforacji

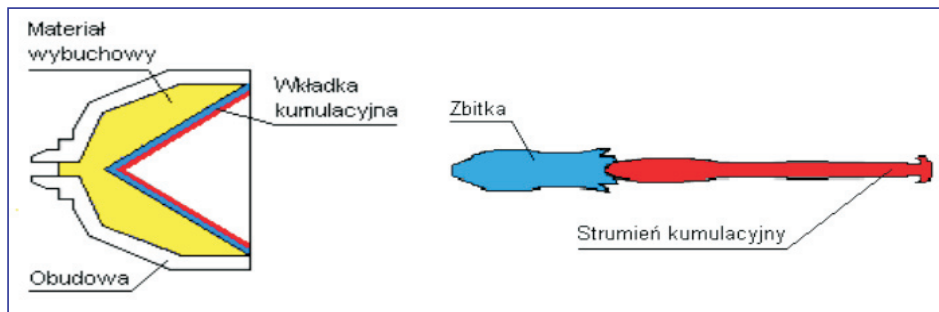
**Symbole UKD:** 623.45

### 1. Wstęp

W górnictwie ropy i gazu, zabieg perforacji otworu wiertniczego przeprowadzany z wykorzystaniem specjalistycznych ładunków kumulacyjnych (ŁK), jest jedną z krytycznych części procesu wykonania odwiertu geologicznego lub wydobywczego. Niewłaściwie przeprowadzona lub niepełna perforacja może prowadzić do błędnych wniosków wskutek obniżenia wydajności wydobywania, a nawet stwarza zagrożenie przeoczenia bogatego złoża.

Ładunki kumulacyjne do perforacji odwiertów geologicznych zastosowano tuż po II wojnie światowej w USA. Dla ładunków o typowej konstrukcji z wkładką kumula-

cyjną z litej miedzi, w procesie formowania się strumienia kumulacyjnego tworzy się tzw. zbitka, której masa stanowi zwykle większą część masy całej wkładki. Strumień kumulacyjny powodujący przebicie wielowarstwowej przegrody, jaką jest ścianka otworu geologicznego (stal, żelbeton, skały), wytwarzany jest z wewnętrznej powierzchni wkładki kumulacyjnej w trakcie wybuchu ładunku kumulacyjnego (rys. 1).



Rys. 1. Schemat działania ładunku kumulacyjnego — podział wkładki kumulacyjnej

Strumień kumulacyjny stanowi mniejszą część masy wkładki, pozostała część wkładki tworzy zbitkę, która poruszając się z mniejszą prędkością w ślad za strumieniem kumulacyjnym, nie wpływa na głębokość przebicia. Zbitka stanowi praktycznie bezużyteczny balast i często wpływa szkodliwie na efekt kumulacyjny, np. czopując otwór w czasie perforacji. W ładunkach z wkładką kumulacyjną z litej miedzi tzw. zbitka stanowi zwykle większą część (60-90%) masy całej wkładki. W warunkach panujących w otworze geologicznym zbitka może zaczopować otwór perforacyjny uzyskany przez strumień kumulacyjny, obniżając przez to skuteczność zabiegu perforacji. Zdarzało się często w praktyce, że po wykonanym zabiegu perforacji nawet co trzeci otwór był niedrożny wskutek zaczopowania przez zbitkę. Zaistniała więc potrzeba zastosowania w ładunkach przeznaczonych do perforacji odwiertów geofizycznych takich wkładek kumulacyjnych, które nie tworzą plastycznej zbitki korkującej wydrążony otwór kumulacyjny.

Od początku lat 50. XX w. próbowano stosować ceramiczne oraz szklane wkładki kumulacyjne [1]. Później do wyrobu wkładek zaczęto stosować metale o niskiej temperaturze topnienia (cynk, cyna, ołów, kadm, bizmut) oraz ich stopy eutektyczne. Przykłady takich pierwszych rozwiązań opisano w patentach amerykańskich: US3112700 [2], US3128701 [3], US3147707 [4]. Równolegle zaczęto również stosować proszki metali, ich mieszaniny, szczególnie miedzi z ołowiem (np. wg patentu US3136249 [5]), cynkiem, cyną, a także ich spieki (np. wg patentu UK916870 [6]).

Z zastosowaniem technologii perforacji kumulacyjnej związany jest również rozwój wkładek kumulacyjnych warstwowych (bimetalicznych) z różnych metali

lub ich spieków. Pierwsze doniesienia na temat zastosowania wkładek kumulacyjnych o konstrukcji warstwowej wymieniają badacza japońskiego Futagami, który testował ładunki kumulacyjne z wkładką dwuwarstwową — z blachy miedzianej i żelaza. Tego samego typu wkładki bimetaliczne o kształcie stożkowym i sferycznym badał również w 1949 r. H. Kolsky [7]. Koncepcję wkładek bimetalicznych rozwijano w USA [8]. Wkładkę wykonywano przez sprasowanie dwóch wkładek cienkościennych z różnych metali wykonanych wcześniej metodą tłoczenia z blach. Wewnętrzną warstwę takiej wkładki, przechodzącą w strumień kumulacyjny wykonywano z miedzi, a zewnętrzną z metalu o niskiej temperaturze topnienia, np. z cynku lub ołowiu, które nie tworzą wytrzymałej zbitki [9].

W tej pracy zaprezentowano odmianę technologii produkcji proszkowych wkładek kumulacyjnych z wykorzystaniem metody prasowania matrycowego. Celem prac było opracowanie sposobu produkcji wkładek kumulacyjnych do ładunków przeznaczonych dla perforacji odwiertów. Jedną z głównych właściwości wkładek według prezentowanej technologii jest porowatość materiału wkładki, co ma wpływ na proces formowania się strumienia kumulacyjnego [10].

Stosując jako surowiec do wytworzenia wkładek mieszaninę proszku miedzi i wolframu, wyprodukowano wkładki o zwiększonej gęstości, tzw. wkładki ciężkie. Drugim rodzajem opisanych w pracy wkładek do ładunków kumulacyjnych są wkładki dwuwarstwowe o znacznej różnicy gęstości obu warstw: wewnętrznej i zewnętrznej. Wychodząc z zasady podziału wkładki kumulacyjnej na zbitkę i strumień, zaproponowano koncepcję konstrukcji wkładki warstwowej, polegającą na zastosowaniu innego rodzaju materiału do wytworzenia strumienia kumulacyjnego i innego do formowania zbitki [11]. Na wybór technologii prasowania matrycowego wkładek kumulacyjnych z proszków metali istotny wpływ miały uwarunkowania ekonomiczne, takie jak minimalizacja kosztów materiałowych, wysoka wydajność oraz możliwa do uzyskania wysoka precyzja wykonania.

W dostępnej literaturze przedmiotu znajdują się opisy oraz opracowania teoretyczne i eksperymentalne dotyczące wkładek warstwowych [7-9]. Prace te nie dotyczą jednak konstrukcji wkładek kumulacyjnych warstwowych otrzymywanych technologią metalurgii proszków metali za pomocą prasowania matrycowego. Prezentowana praca jest więc uzupełnieniem stanu wiedzy w tej dziedzinie.

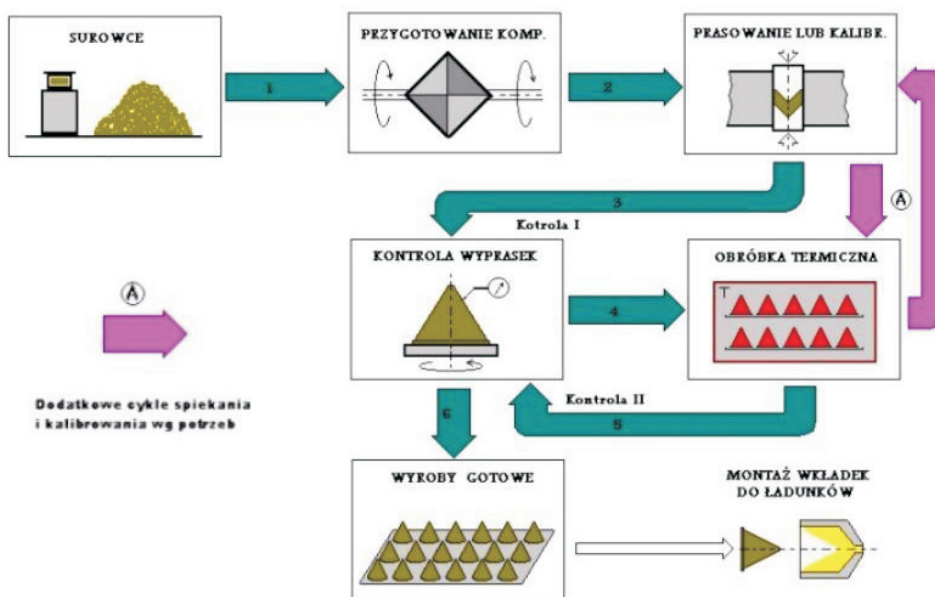
## **2. Technologia wykonania prasowanych wkładek proszkowych**

Ładunki kumulacyjne osiowo-kierunkowe do perforacji odwiertów geologicznych mogą być konstruowane w oparciu o wkładki otrzymane w różnego rodzaju technologiach. Mogą być one wykonywane techniką tłoczenia lub wyoblania z blachy, metodą skrawania lub wykonywane z odpowiednich proszków techniką prasowania i spiekania. W przypadku stosowania tej technologii możliwe jest

otrzymywanie wkładek z mieszaniny metali o dużej różnicy gęstości, wkładek zawierających materiały niebędące metalami lub materiały reagujące chemicznie z otoczeniem. Umożliwia ona także otrzymywanie wkładek o różnorodnej konstrukcji, np. warstwowych. Wkładki otrzymane metodą prasowania matrycowego zwykle nie wymagają dodatkowej skomplikowanej obróbki mechanicznej niezbędnej w przypadku wkładek otrzymanych innymi metodami.

Metalami stosowanymi najczęściej w postaci proszków czystych, stopów lub kompozycji są: miedź, nikiel, żelazo, tantal, ołów, cyna, wolfram, bizmut, a nawet zubożony uran. Do prasowania wkładek kumulacyjnych proszkowych do ładunków perforujących dla górnictwa otworowego stosuje się powszechnie elektrolityczne proszki miedzi. W wyrobach o wymaganej wysokiej gęstości ( $10-17 \text{ g/cm}^3$ ) stosuje się proszki metali ciężkich, takie jak tantal, molibden i głównie wolfram z dodatkami miedzi, bizmutu, cyny, ołowiu, niklu, żelaza lub kobaltu. Spośród tych materiałów interesujące są materiały ciężkie z osnową wolframową, np. spieki ciężkie Mc Lennana: wolfram-miedź-nikiel lub typu wolfram-nikiel-żelazo. Można także stosować inne proszki, takie jak glin i jego stopy, niemetale (fosfor), utleniacze dające dodatkowe efekty towarzyszące perforowaniu.

Schemat technologii produkcji proszkowych wkładek kumulacyjnych z wykorzystaniem metody prasowania matrycowego przedstawiono na rysunku 2 [12].



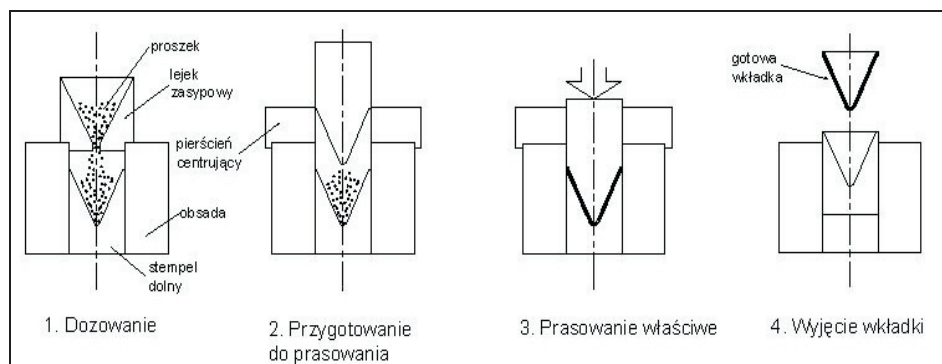
Rys. 2. Schemat blokowy produkcji proszkowych wkładek kumulacyjnych metodą prasowania matrycowego

Proces technologiczny prasowania matrycowego wkładek składa się z następujących operacji:

- przygotowania ujednorodnionej mieszaniny proszków metali do prasowania;
- prasowania wkładek w metalowych matrycach;
- obróbki termicznej: spiekania niskotemperaturowego wkładek w atmosferze ochronnej;
- kontroli parametrów geometrycznych i mechanicznych wkładek.

Gotowe wkładki mogą dodatkowo podlegać kolejnemu prasowaniu (kalibrowaniu) i dodatkowej obróbce termicznej.

Operacją decydującą o jakości wkładek oraz wydajności procesu technologicznego jest prasowanie matrycowe proszków metalicznych. Standardowy sposób prasowania (rys. 3) jest stosowany do wytwarzania typowych wkładek kumulacyjnych o dużym kącie wierzchołkowym i stosunkowo grubych ściankach.

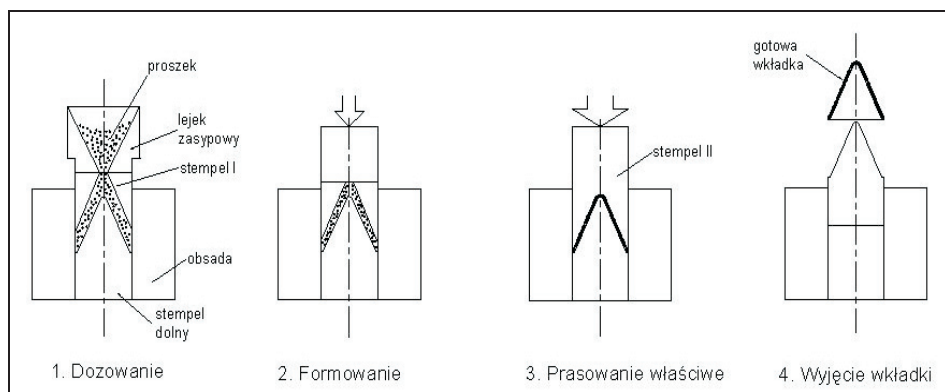


Rys. 3. Schemat tradycyjnego sposobu prasowania matrycowego wkładek kumulacyjnych proszkowych

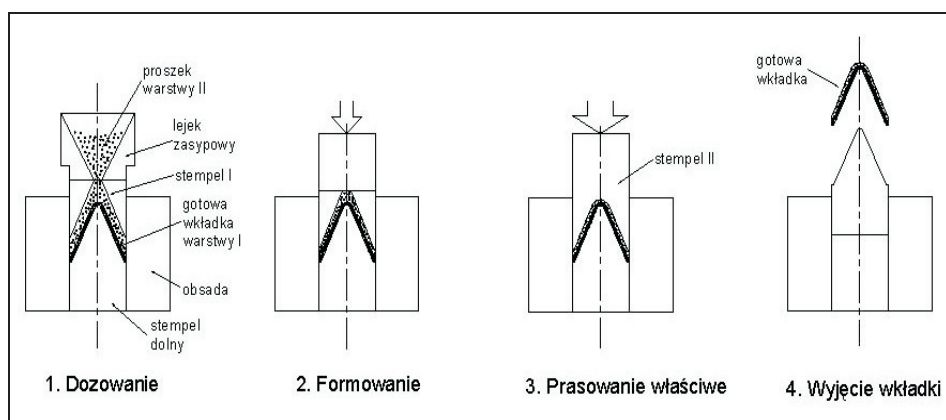
Do prasowania wkładek o mniejszych kątach stożka i cieńszej ściance stosuje się tzw. system prasowania odwróconego (rys. 4).

Odwrócony sposób prasowania matrycowego umożliwia wykonywanie wkładek o precyzyjnej budowie i wysokiej powtarzalności parametrów wyrobu, również wkładek warstwowych z użyciem różnorodnych materiałów, co pozwala na uzyskanie dodatkowych efektów [13].

Na rysunku 5 przedstawiono schemat procesu prasowania matrycowego proszkowych warstwowych wkładek kumulacyjnych. Technika wytwarzania wkładki warstwowej polegała na wykonaniu oddzielnie w tym samym zestawie narzędzi dwóch lub więcej wkładek proszkowych o założonym składzie przy stosowaniu niskiego ciśnienia prasowania. Kolejną czynnością było nałożenie wkładek na siebie



Rys. 4. Schemat odwróconego sposobu prasowania matrycowego wkładek kumulacyjnych proszkowych



Rys. 5. Schemat prasowania matrycowego dwuwarstwowej proszkowej wkładki kumulacyjnej

w ustalonym porządku, zamontowanie w matrycy i zaprasowanie pod wysokim ciśnieniem. W trakcie tej operacji następuje mechaniczne scalenie złożonych elementów i uzyskanie docelowej gęstości poszczególnych warstw wkładki. Wysoce niepożądanym efektem operacji scalania warstw wkładki jest pełzanie porowatego materiału różnych warstw w trakcie operacji prasowania pod wpływem wysokiego ciśnienia, co prowadzi do pogorszenia symetrii otrzymanego produktu.

Na rysunku 6 przedstawiono widok zestawu oprzyrządowania do prasowania wkładek kumulacyjnych z proszków metali.

Wkładki kumulacyjne do ładunków dla górnictwa otworowego po prasowaniu poddaje się obróbce cieplnej — niskotemperaturowemu spiekaniu. Czynność ta polega na wygrzewaniu wkładek przez umieszczenie ich wewnątrz pieca elektrycz-



Rys. 6. Widok zestawu oprzyrządowania do prasowania wkładek kumulacyjnych z proszków metali

nego w atmosferze ochronnej azotu przez okres od 1 do 4 godzin w odpowiednio dobranej temperaturze (np. dla wkładek prasowanych z proszków na bazie miedzi, ok. 500-550°C). Z uwagi na zastosowanie wkładek kumulacyjnych do ładunków perforujących w odwiertach, nie stosuje się wysokich temperatur spiekania — bliskich temperaturze topnienia materiału wkładki, właściwych dla typowego spiekania. Zabieg wygrzewania ma na celu przede wszystkim likwidację naprężeń i odkształceń w materiale wkładki. Dzięki temu wkładki kumulacyjne proszkowe posiadają dostateczną wytrzymałość mechaniczną do ich montażu w ładunkach (do elaboracji).

Wkładki kumulacyjne po obróbce termicznej podlegają ponownej kontroli wyglądu zewnętrznego i dokładności. Wkładki wadliwe podlegają rozdrobieniu, a odzyskany proszek może służyć do produkcji nowych wkładek. Zastosowana technologia jest więc praktycznie bezodpadowa.

## 2.1. Skrócony opis procesu technologicznego wykonania wkładek proszkowych

Poniżej, dla wybranej konstrukcji ładunku przeznaczonego do perforacji odwiertów typu ŁOKT-H-Fe-33..., podano opis technologii wykonania wkładek kumulacyjnych proszkowych zastosowanych w tych ładunkach (o średnicy 33,3 mm i kącie wierzchołkowym 45°).

### Surowce

1. Elektrolityczny proszek miedzi (symbol ECu1/0,160). Producent — ZM Trzebinia.
2. Proszek wolframu (symbol W/40). Dostawca — Huta „Baildon”.
3. Stearynian cynkowy cz.d.a. Dostawca — PPH Polskie Odczynniki Chemiczne Gliwice.

## Urządzenia

1. Mieszalnik bębnowy i młynek kulowy lub biegacz do sporządzania mieszaniny proszków metali wolframu i miedzi o odpowiednim składzie i jednorodności.
2. Prasa hydrauliczna PH-M o nacisku 100 T (1 MN) wraz z oprzyrządowaniem.
3. Piec elektryczny komorowy z atmosferą regulowaną do obróbki termicznej wyprasek wkładek kumulacyjnych.

**Prasowanie wkładek** (przykład dotyczy wykonania wkładki dwuwarstwowej — rysunek 5)

Dla gotowej nowej partii kompozycji proszkowych przygotowuje się porcje wagowe lub dobiera odpowiednio miarki objętościowe do dozowania.

### 1. Prasowanie warstwy wewnętrznej wkładki

Do gniazda formującego przez lej wstępnego formowania matrycy dozuje się 10 g kompozycji proszkowej z mieszaniny proszku miedzi i wolframu. Następnie uruchamia się prasę, opuszcza stempel górny i prasuje dozę proszku wymaganym ciśnieniem. Ciśnienia prasowania wstępnego dobiera się w zakresie 100-150 MPa.

### 2. Prasowanie warstwy zewnętrznej wkładki

Analogicznie jak wyżej na wstępnie zaprasowaną pierwszą warstwę dozuje się 16 g proszku miedzi (ECu). Następnie całość prasuje się wstępnie ciśnieniem w zakresie 100-150 MPa.

### 3. Właściwe prasowanie

Za pomocą stempla końcowego pasowania, który nadaje wkładce ostateczny kształt, wykonuje się prasowanie wyższym ciśnieniem — 500 MPa.

## Obróbka termiczna wkładek

Operacja polega na spiekaniu niskotemperaturowym wkładek wewnątrz pieca elektrycznego w atmosferze ochronnej azotu na palecie w temperaturze 550°C przez okres 4 godz. Wkładki należy rozmieścić na palecie równomiernie, tak aby nie stykały się podstawami.

## Kontrola wkładek

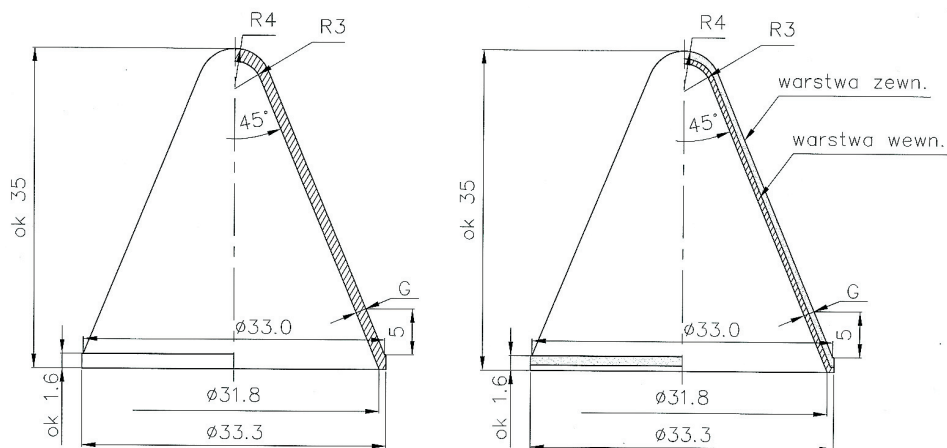
Kontrolę jakości wkładek kumulacyjnych przeprowadza się po prasowaniu wkładek i po obróbce termicznej wkładek. Dokładność kształtu wkładek ocenia się przez pomiar symetrii osiowej, mierząc grubość ścianek wkładki na całym obwodzie w pobliżu podstawy. Za wkładki precyzyjne przeznaczone do zastosowań w ładunkach do perforacji, np. o średnicy 33,3 mm uznaje się takie, których grubość mierzona



przy podstawie na całym obwodzie nie różni się więcej niż 0,05 mm. Stanowi to nie więcej niż 0,15% wymiaru średnicy.

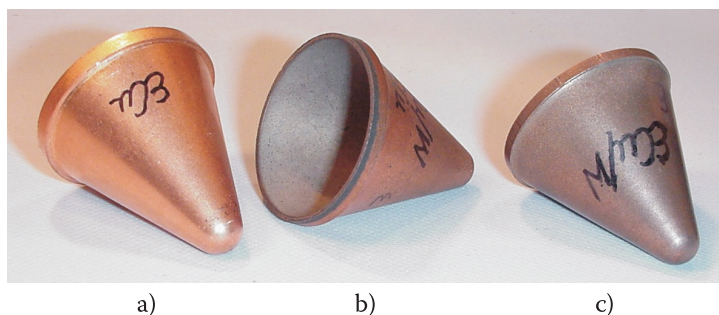
## 2.2. Charakterystyka wkładek kumulacyjnych proszkowych

Poniżej przedstawiono rysunek konstrukcyjny (rys. 7) wkładek kumulacyjnych proszkowych o średnicy 33,3 mm i kącie wierzchołkowym 45°, z materiału jednorodnego i wkładki dwuwarstwowej. Wkładki wykonano za pomocą tego samego zestawu oprzyrządowania. Posiadają taki sam kształt — średnica u podstawy wynosi 33,3 mm, kąt wierzchołkowy 45°.



Rys. 7. Schemat wkładki kumulacyjnej prasowanej z proszków metali, z materiału jednorodnego i dwuwarstwowej

Na rysunku 8 przedstawiono widok gotowych wkładek kumulacyjnych proszkowych, o podanym wyżej kształcie i wymiarach, prasowanych metodą matrycową. Na rysunku 8a przedstawiono wkładkę wykonaną z proszku miedzi. Na rysunku 8b przedstawiono wkładkę dwuwarstwową, składającą się z warstwy wewnętrznej o zwiększonej gęstości ( $12,5 \text{ g/cm}^3$ ) prasowanej z mieszaniny proszków miedzi i wolframu i warstwy zewnętrznej prasowanej z proszku miedzi. Na rysunku 8c przedstawiono widok wkładki jednorodnej prasowanej z mieszaniny proszków miedzi i wolframu. W tabeli 1 zamieszczono podstawowe dane fizyczne charakteryzujące badane wkładki kumulacyjne.



Rys. 8. Proszkowe wkładki kumulacyjne o średnicy podstawy 33,3 mm i kącie wierzchołkowym 45°: a) wkładka jednorodna, wykonana z proszku miedzi, b) wkładka dwuwarstwowa, z warstwą wewnętrzną o zwiększonej gęstości, c) wkładka jednorodna o zwiększonej gęstości, wykonana z mieszaniny proszków miedzi i wolframu

TABELA 1

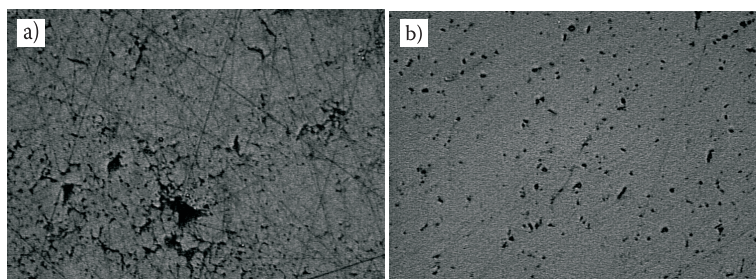
Wybrane parametry badanych wkładek kumulacyjnych

Nr	Opis wkładki — materiał	Masa $m$ [g]	Gęstość $\rho_0$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Porowatość [%]	Grubość ścianki, g [mm]
1	Wkładka prasowana z proszku miedzi ECu /0,160	22,0	8,5	4,7	1,15
2	Wkładka z mieszaniny proszku miedzi i wolframu Cu/W	30,0	12,5	5,0	1,07
3	Wkładka dwuwarstwowa: — warstwa zewnętrzna Cu — warstwa wewnętrzna Cu/W	16,0 10,0 razem 26,0	8,5 12,5		ok. 0,8 ok. 0,3 razem 1,11

### 3. Badania metalograficzne wkładek kumulacyjnych proszkowych

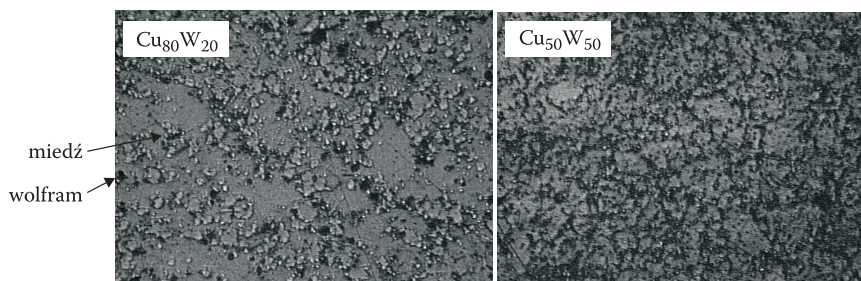
Wykonano badania metalograficzne powierzchni przekroju wkładek kumulacyjnych proszkowych wykonanych metodą prasowania matrycowego wg przedstawionej technologii. Dodatkowo wykonano również próbki do badań metalograficznych wkładki kumulacyjnej tzw. „surowej”, niepoddanej obróbce termicznej. Obserwacje mikrostruktury materiału wkładek wykonywano na nietrawionych zglądach metalograficznych wykonanych na wzdłużnych osiowych przekrojach wkładek. W badaniach zastosowano mikroskop optyczny NEOPHOT 2.

Wpływ niskotemperaturowego spiekania wyprasek wykonanych z elektrolitycznego proszku miedzi na ich mikrostrukturę przedstawiono na rysunku 9. Na podstawie przedstawionych zdjęć można zauważyć, że prowadzone w stosunkowo niskiej temperaturze spiekanie powoduje zmniejszenie porowatości materiału objawiające się zmniejszeniem wymiarów porów oraz ich liczebnością. Można zatem przyjąć, że zastosowane warunki spiekania korzystnie wpływają na mikrostrukturę materiału wkładek.



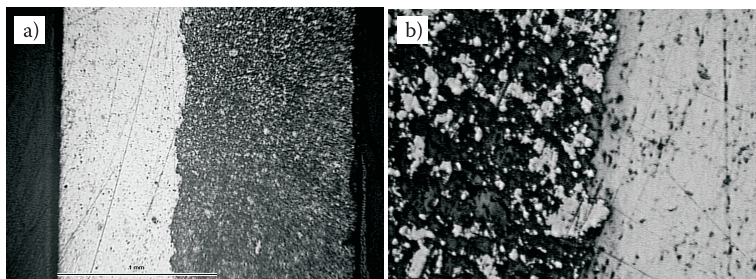
Rys. 9. Mikrostruktura materiału wkładki wykonanej z elektrolitycznego proszku miedzi ECu: a) przed; b) po niskotemperaturowym spiekanii ( $550^{\circ}\text{C} - 4\text{ h}$ ). Powiększenie 1000x

Na rysunku 10 przedstawiono mikrostrukturę materiałów wkładek wytworzonych z mieszanek proszkowych o różnej zawartości wolframu i miedzi. Cząstki proszku wolframu stanowią oddzielną jaśniejszą fazę wyróżniającą się z osnowy utworzonej z proszku miedzi. Pory w mikrostrukturze kompozytu widoczne są na fotografii jako ciemniejsze obszary. Na przedstawionych fotografiach mikrostruktur można zaobserwować zależność porowatości badanych kompozytów od zawartości wolframu w mieszance proszkowej. Zwiększenie zawartości wolframu w kompozycie powoduje widoczny wzrost wymiarów oraz liczby porów w materiale. W porównaniu do jednoskładnikowych wyprasek z proszku miedzi nie zauważono wpływu niskotemperaturowego spiekania na zmniejszenie się porowatości materiału.



Rys. 10. Mikrostruktura materiałów wkładek wykonanych z mieszanki proszkowej o różnym udziale składników [%] Cu i W — po obróbce cieplnej ( $550^{\circ}\text{C} - 4\text{ h}$ ); powiększenie 1000x

Fotografie nietrawionych zglądów metalograficznych wykonanych na wzdłużnych przekrojach osiowych wkładek dwuwarstwowych przedstawiono na rysunku 11. Na fotografii przekroju wkładki wykonanym przy powiększeniu 50x widoczne są dwie warstwy wykonane z różnych materiałów: jasna — wykonana z proszku miedzi — oraz ciemniejsza — z mieszaniny proszku wolframu i miedzi. Wyraźnie widoczna jest nieregularna granica rozdziału obu warstw. Na fotografii wykonanej przy powiększeniu 1000x (rys. 11b) można zaobserwować szczegóły połączenia warstw. Ma ono charakter mechanicznego połączenia adhezyjnego. Nie występuje w nim dyfuzyjna warstwa pośrednia, ponieważ temperatura spiekania była zbyt niska, a czas zastosowanej obróbki cieplnej był zbyt krótki.



Rys. 11. Mikrostruktura materiału wkładek dwuwarstwowych wykonanych Cu/W+ECu: a) widok przekroju wkładki — pow. 50x; b) granica warstw (pow. 1000x)

#### 4. Podsumowanie

Opisane prace technologiczne potwierdzają, że technologia metalurgii proszków stwarza nowe możliwości w produkcji wkładek do ładunków kumulacyjnych, zwłaszcza mniejszych kalibrów do kilkudziesięciu milimetrów. Zastosowana technologia metalurgii proszków umożliwia również projektowanie i produkcję wkładek kumulacyjnych o różnych kształtach, zmiennej masie oraz różnorodnym składzie chemicznym, co jest nieosiągalne dla technologii tradycyjnej. Duże możliwości aplikacji stwarza metoda produkcji wkładek wielowarstwowych o praktycznie dowolnie dobranych rodzajach proszków metali, a nawet z zastosowaniem materiałów niemetalicznych. Proponowana technologia umożliwia zwiększenie wydajności procesu produkcyjnego oraz zmniejszenie kosztów materiałowych przy zachowaniu wymaganej wysokiej precyzji wykonania wkładek.

Wyprodukowane nową technologią wkładki proszkowe charakteryzują się korzystnymi właściwościami użytkowymi w porównaniu z wkładkami z litej miedzi wytworzonymi technologią obróbki plastycznej. Na zdjęciach mikroskopowych

przekrojów wkładek ujawniono porowatą mikrostrukturę proszkowej wkładki. Dzięki występowaniu porowatej mikrostruktury materiału wkładki, można przypuszczać, że tworząca się w procesie dynamicznego formowania zbitka kumulacyjna również zachowuje analogiczną mikrostrukturę, wskutek czego jej wytrzymałość mechaniczna jest obniżona. Porowaty materiał wkładki w trakcie dynamicznego sprężania, wskutek zderzania się elementów wkładki z bardzo wysoką prędkością, ulega również nagrzananiu do wyższych temperatur niż w przypadku wkładek z litego metalu. Czynniki te wpływają na zmniejszenie sił adhezji pomiędzy ziarnami mieszaniny proszków, co ułatwia rozpadanie się zbitki kumulacyjnej w trakcie jej lotu przez otwór wydrążony wcześniej wskutek działania strumienia kumulacyjnego. Opisane właściwości wkładek proszkowych spiekanych w niskiej temperaturze są przyczyną eliminowania wysoce niekorzystnego efektu czopowania wydrążonego otworu kumulacyjnego przez zbitkę. Taka cecha charakterystyczna ŁK z wkładkami proszkowymi jest cenną zaletą w zastosowaniach geologicznych do udostępniania i eksploatacji odwiertów wydobywczych.

Artykuł wpłynął do redakcji 10.01.2007 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w marcu 2007 r.

#### LITERATURA

- [1] H. P. TARDIF, *Die Hohlladung*, Explosivstoffe 8, 1957, 155-166.
- [2] Patent US 3112700, *Eutectic alloy shaped charge liner*, 1963.
- [3] Patent US 3128701, *Shaped charge perforating apparatus*, 1964.
- [4] Patent US 3147707, *Shaped explosive device and type metal liner for the cavity thereof*, 1964.
- [5] Patent US 3136249, *Shaped charge explosive unit and liner therefore*, 1964.
- [6] Patent UK 916870, *Improvements in shaped explosive charges*, 1963.
- [7] W. P. WALTERS, J. A. ZUKAS, *Fundamentals of Shaped Charge*, A Wiley-Interscience Publication, New York, 1989.
- [8] Patent US 3025794, *Perforating apparatus*, 1962.
- [9] Patent UK 832685, *Improvements in or relating to shaped charge explosive devices*, 1960.
- [10] A. JACKOWSKI, *Rola porowatości materiału wkładki w procesie formowania strumienia kumulacyjnego*, WAT, Warszawa, 2002.
- [11] Patent PL 182314, *Wkładka kumulacyjna do ładunków osiowo-kierunkowych*, 2001.
- [12] M. BANASIAK, Z. WILK, *Badania w zakresie technologii metalurgii proszków i wytwarzania spieków dla zastosowań w ładunkach kumulacyjnych do perforacji odwiertów geologicznych i dla celów specjalnych*, Sprawozdanie z pracy badawczej EMC 001400013, IPO Warszawa, Oddział Krupski Młyn, 2 02.
- [13] Z. KUPIDURA, Z. WILK, B. ZYGMUNT, *Badania granatów kumulacyjno-odłamkowych wymiar 38 mm z dodatkowym efektem zapalającym*, materiały konferencji AMUNICJA 2002 — Badania i rozwój systemu BM-21 oraz nowoczesnej amunicji, Kołobrzeg, 2002.

Z. WILK, B. ZYGMUNT, A. JACKOWSKI

**Technological idea of powder liners for shaped charges  
used in well-bore perforation**

**Abstract.** In the paper, the technological research of shaped charge liners used in perforating of well-bore pipes is described. Liners were manufactured by powder metallurgy. Investigation results of different types of liners are presented: a homogeneous one made of copper and a mixture of copper and tungsten powder and two-layer liner with heavy layer inside and light layer outside. Basing on the experimental results, the authors came to a conclusion that the proposed technology allows us to obtain liners of assumed properties.

**Keywords:** metal powder, liner, borehole perforation

**Universal Decimal Classification:** 623.45