

Marek Galanty<sup>1</sup>

Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Metali Nieżelaznych, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

## WYCISKANIE NA ZIMNO METALICZNYCH MATERIAŁÓW POROWATYCH

Przedstawiono wybrane wyniki badań związane z wyciskaniem na zimno metalicznych materiałów porowatych na przykładzie rozpylanego proszku aluminiowego RAL 1 dla wyraźnie zróżnicowanych frakcji ziarnowych 30, 110 i 450  $\mu\text{m}$ . Wykorzystano specjalnie przygotowany wsad wstępnie dwustronnie prasowany w szerokim zakresie ciśnień oraz proszek syпки frakcji 450  $\mu\text{m}$ . Wyciskanie prowadzono na prasie hydraulicznej 3MN o stabilizowanej prędkości ruchu stempla. Badano wpływ ciśnienia prasowania na charakterystykę siłową procesu, a poprzez ustalenie poziomu siły oceniano wpływ zastosowanego smaru, prędkości wyciskania, stopnia odkształcenia i kształtu matrycy. Określono zmiany gęstości wsadu i wyrobu w zależności od parametrów procesu. Uzyskane wyniki pozwalają dokonać oceny możliwości wyciskania na zimno różnymi metodami metalicznych materiałów porowatych i ustalić właściwy dobór warunków prowadzenia tego procesu.

### COLD EXTRUSION OF POROUS METALLIC MATERIALS

The well known advantages of P/M technology focus our attention also on manufacturing long products of complicated cross-section. The extrusion process is capable of producing such products, and additionally, due to the favourable state of stress in the deformation zone, the high degree of material consolidation can be obtained. This influences in a positive way the mechanical properties of the product. The two extrusion techniques are possible in practice. First one (Fig. 1a,b) is similar to the conventional extrusion of solid feedstock; it consists in forward or backward extrusion of compacted samples. The second case consists in extrusion of a loose powder (Fig. 1d) material poured directly into the extrusion container, in which the opening (die) is covered with a metallic disk. The loose powder pressed by the punch undergo densification, next pushes out the disk and flows out through the die in the form of a solid extrudate. The second technique can be performed only in a room temperature without using of binders, that are usually added to the metal powder to enhance its densification. In this case the decisive role play the adhesive forces between the powder particles. The attraction of this procedure is shortened way from the powder to finished product, by eliminating compaction and sintering from the processing route.

The aim of this work was to perform the extensive experiments on the cold extrusion of compacts and loose metallic powders. Three selected fractions of technical purity (99.5 wt.%) atomised aluminium powder RAL1 of 0+30, 110 and 450  $\mu\text{m}$  were used to prepare compacts of different green density (Fig. 2) for cold extrusion (Figs 3-5). Additionally, the loose fraction of 450  $\mu\text{m}$  was used directly in the extrusion. The extrusion was performed on a 3MN capacity vertical hydraulic press. The container of 35 mm in diameter was equipped with a dies having different opening diameter within the range of 16-9 mm. Before filing the container the die opening was covered with aluminium disks of various thickness. Due to this fact the extrusion was initiated at different loads, so that, the powder in the container was consolidated prior to extrusion to different density. At the stable state of the extrusion the process was interrupted and the rest of the feedstock was taken out of the container. The rests were next submitted to hardness examination on their axial cross-section (Fig. 6) to determine the mode of the material flow within the container. The density and hardness at different locations of the extruded rods were also examined.

The extrusion load in dependence on the ram displacement was recorded during experiments (Figs 3, 7). The samples from different locations of the extrudate were submitted to mechanical testing. The obtained results enabled to determine the influence of the extrusion mode on the load required, on the material flow and on the distribution of mechanical properties along the extrudate length.

### WSTĘP

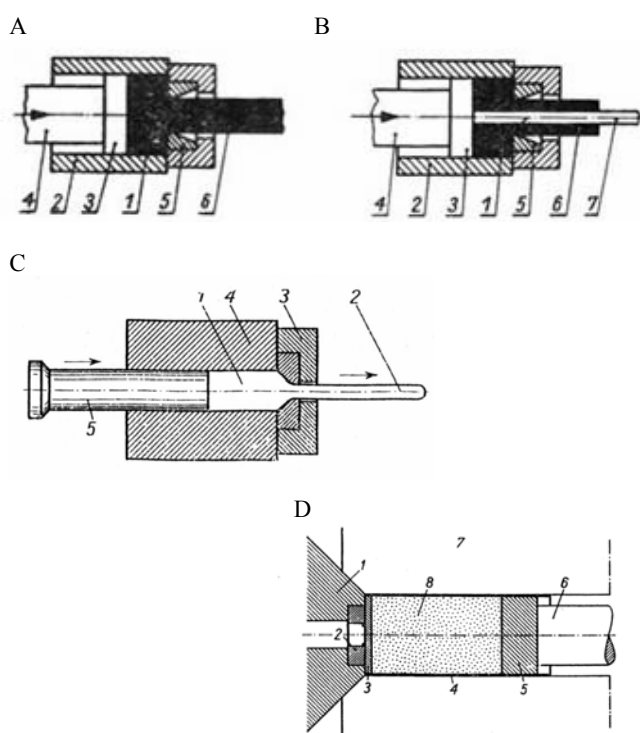
Wykorzystywane w praktyce metaliczne materiały porowate (MMP) są wykonywane głównie z proszków metali na drodze prasowania wstępnego wypraski o konkretnie wymaganym kształcie lub przez walcowanie albo wyciskanie, umożliwiające uzyskanie wyrobu o znacznej długości i stosunkowo małym przekroju poprzecznym, np. druty, taśmy i kształtowniki. Obok uzyskania pożądanego kształtu finalnego ważnym zadaniem jest również możliwie duże i jednorodne zagęszczenie materiału, inaczej mówiąc, uzyskanie kontrolowanej niskiej porowatości w całej masie wyrobu.

Podstawowym celem pracy jest doświadczalna weryfikacja możliwości wykorzystania wyciskania MMP na zimno i przygotowanie założeń do opracowania takiej technologii. W klasycznej technologii produkcji stosuje się prasowanie proszku w zamkniętych matrycach lub wyciskanie mieszaniny proszków na gorąco wraz z tzw. środkami poślizgowymi. Środki te usuwane są z półwyrobu w trakcie dalszej operacji spiekania w podwyższonych temperaturach [1-3]. Zastosowanie wyciskania MMP na zimno pozwoli uzyskać duże stopnie zagęszczenia (ok. 95% gęstości teoret.) wskutek

<sup>1</sup> dr inż.

działających sił adhezyjnych, a także wyeliminować stosowanie środków poślizgowych i skrócić czas wykonania wyrobu. Duże odkształcenie objętościowe zapewnia dobrą zagęszczalność i poprawia równomierność własności wyrobu, a proces prowadzony na zimno zabezpiecza przed utlenianiem składniki wsadu.

Wyciskanie, jako proces technologiczny przeróbki plastycznej, charakteryzuje się korzystnym stanem naprężenia, sprzyjającym formowaniu półwyrobów, szczególnie dla materiałów mało plastycznych i trudno odkształcalnych, do których zalicza się powszechnie MMP. Próby wykorzystania tej techniki bazują głównie na doświadczeniach z materiałami metalicznymi litymi i przynoszą dobre efekty w przypadku materiałów kompozytowych i proszkowych wyciskanych na gorąco. Jednak obniżone własności wytrzymałościowe gorącego wyrobu wychodzącego z matrycy często sprzyjają występowaniu powierzchniowych pęknięć, wskutek działającego poza paskiem kalibrującym narzędzia naprężenia rozciągającego. Temperatura jest też powodem konieczności stosowania operacji odgazowania wsadu i stosowania ochronnych atmosfer redukujących, zabezpieczających wsad przed utlenieniem. Usunięcie tych problemów technicznych wydaje się być możliwe w przypadku technologii wykluczającej wpływ temperatury na etapie formowania przy wyciskaniu



Rys. 1. Ogólne schematy wyciskania metalicznych materiałów proszkowych: A, B - wyciskanie profilu pełnego i wyciskanie rur z wsadu proszkowego wstępnie sprasowanego, C - wyciskanie materiału proszkowego w osłonie („nabój”), D - wyciskanie sypkiego materiału proszkowego [1, 3]

Fig. 1. General modes of extrusion of metallic powders

Sam proces wyciskania może być prowadzony na trzy sposoby. Pierwszy polega na wyciskaniu wstępnie sprasowanych na zimno wyprasek (rys. 1A, B) i nie różni się technicznie od wyciskania litych metali. W drugim sposobie stosuje się jako wsad tzw. „nabój”, czyli syпки proszek zamknięty w metalowej osłonie (rys. 1C). Wreszcie można wyciskać syпки proszek zasypywany bezpośrednio do recypienta (pojemnika) prasy, zamykając otwór matrycy krążkiem metalu (rys. 1D). Ostatni sposób, realizowany wyłącznie na zimno, umożliwia też jednoczesne platerowanie wyrobu, a poprzez zmianę grubości krążka - różne warunki wyciskania i stąd różne własności wyrobu.

## OPIS BADAŃ

W pracy pokazano wybrane wyniki badań wyciskania metalicznych materiałów proszkowych na zimno na przykładzie wsadu z rozpylanego proszku aluminiowego RAL1 dla trzech wyraźnie zróżnicowanych frakcji ziarnowych 30, 110 i 450  $\mu\text{m}$ . Wykorzystano specjalnie przygotowany wsad wstępnie dwustronnie prasowany w szerokim zakresie ciśnień 25÷900 MPa oraz proszek syпки frakcji 450  $\mu\text{m}$ . W tym drugim przypadku stosowano zamknięcie matrycy krążkami blachy aluminiowej o grubości 0,5÷3,0 mm. Wyciskanie prowadzono z pełną rejestracją parametrów procesu na prasie hydraulicznej pionowej 3MN o stabilizowanej prędkości ruchu stempla, używając stale recypienta  $\varnothing 35 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ . Zarówno wyroby, jak i częściowo wyciśnięty wsad poddano ocenie gęstości średniej oraz rozkładu gęstości na przekroju poprzecznym i wzdłużnym, w niektórych przypadkach wykonano pomiary twardości, szacując w ten sposób zmiany gęstości i własności wytrzymałościowych.

## WYNIKI BADAŃ

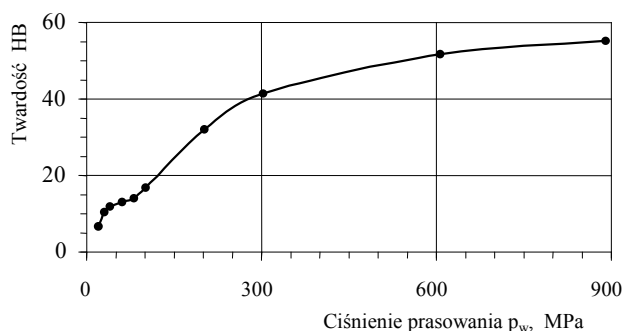
### Wyciskanie MMP ze wsadu wstępnie zagęszczonego

Wsad wstępnie zagęszczony przygotowany poprzez prasowanie dwustronne charakteryzował się zróżnicowaną porowatością, a przez to również różną gęstością i twardością. Gęstość i twardość wyprasek rośnie ze wzrostem ciśnienia prasowania. Krzywa zależności twardości HB w funkcji ciśnienia prasowania ma przebieg podobny do krzywej zagęszczalności proszków (rys. 2).

Wyniki wpływu zagęszczenia wstępnego materiału porowatego na proces wyciskania na zimno pokazano na rysunkach 3-5. Krzywe zmiany siły w trakcie procesu są typowe dla wyciskania na zimno, gdzie wskutek ruchu stempla wraz z postępującym skróceniem wsadu zmniejszeniu ulegają siły tarcia (zmniejszenie powierzchni styku z narzędziami), ale jednocześnie wzrastają wła-

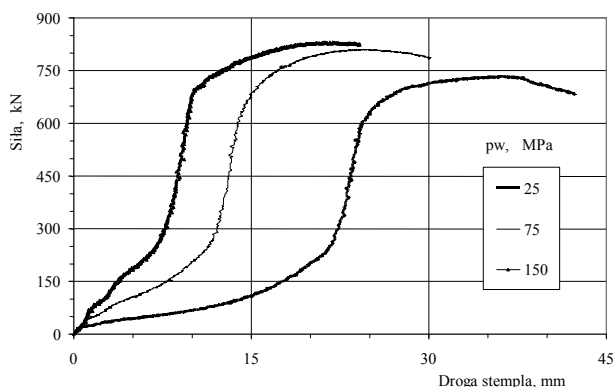
sności wytrzymałościowe wsadu (umocnienie odkształceniowe).

W pierwszym etapie wyciskania występuje powolny wzrost siły związany z „dogęszczaniem” wsadu [4]. Etap ten jest różny dla różnych ciśnień wstępnego prasowania wsadu i ulega silnemu wydłużeniu dla niższych ciśnień. Charakterystyki siłowe procesu wykazują wyraźną zależność od wartości ciśnienia prasowania wsadu (rys. 3), a wraz ze wzrostem tego ciśnienia podnosi się maksymalny poziom siły konieczny do uzyskania wyrobu. Dzieje się tak jednak tylko dla mniejszych zagęszczeń, po osiągnięciu ciśnienia krytycznego dalsze zagęszczanie wsadu powoduje wyraźne obniżenie siły maksymalnej wyciskania, a dalej jej stabilizację (rys. 4). Bardzo podobne charakterystyczne zmiany sił maksymalnych uzyskano w przypadku wszystkich badanych wielkości odkształceń (dla współczynników wydłużenia  $\lambda = 4,9 \div 15,5$ ), jedynie ich poziom był wyraźnie różny i silnie wzrastał wraz ze wzrostem odkształcenia. Powyższe wyniki znajdują potwierdzenie we wcześniejszych publikacjach [5, 6].



Rys. 2. Zależność twardości HB wsadu do wyciskania od ciśnienia prasowania wstępnego  $p_w$  (RAL1, frakcja 30  $\mu\text{m}$ )

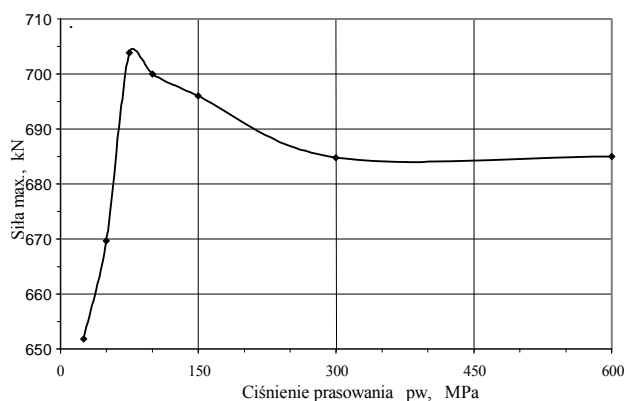
Fig. 2. The influence of the compaction pressure on the compacts hardness



Rys. 3. Wpływ ciśnienia prasowania wstępnego  $p_w$  na wielkość siły wyciskania wsadu z proszku RAL1 (matryca płaska, średnica wyrobu 11 mm, frakcja 110  $\mu\text{m}$ )

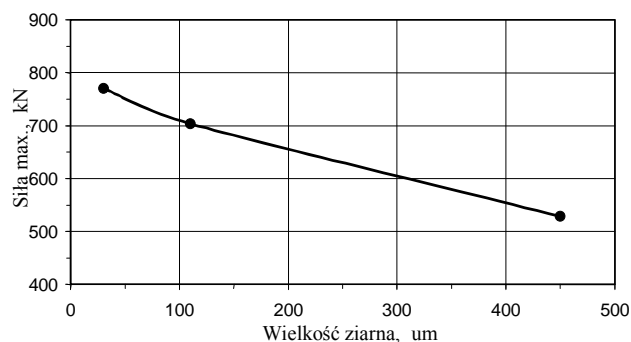
Fig. 3. The influence of the compaction pressure on the extrusion load of RAL 1 powder

Inne czynniki wpływające na siłę wyciskania to wielkość ziarna proszku, z którego przygotowano wsad, prędkość ruchu stempla, rodzaj smarowania oraz kształt matrycy [5]. Zmiana prędkości w badanym zakresie 15÷120 mm/min praktycznie nie wywołała dodatkowych efektów siłowych. Natomiast bardzo wyraźny jest wpływ rodzaju proszku, a wzrost nawet o 50% siły wyciskania (rys. 5) dla proszku 30  $\mu\text{m}$  można tłumaczyć ogólnie gorszą odkształcalnością takiego proszku, ale również znacznymi trudnościami technicznymi przy prowadzeniu próby.



Rys. 4. Wpływ ciśnienia prasowania wstępnego na wartość maksymalnej siły wyciskania wsadu porowatego (średnica wyrobu 14 mm, frakcja 110  $\mu\text{m}$ )

Fig. 4. The influence of compaction pressure on the maximum extrusion load



Rys. 5. Wpływ frakcji ziarnowej proszku RAL1 na wielkość maksymalnej siły wyciskania współbieżnego na zimno (ciśnienie prasowania wstępnego  $p_w = 75$  MPa, średnica wyrobu 14 mm, prędkość stempla 60 mm/min)

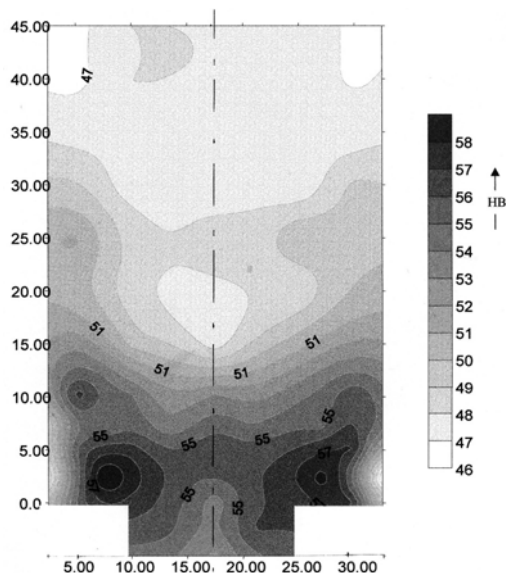
Fig. 5. The influence of the powder fraction on the load in the cold forward extrusion

## Wyciskanie MMP ze wsadu sykiego

Proszek zasypany bezpośrednio do recipienta prasy jest poddawany w pierwszej fazie ruchu stempla jednostronnemu prasowaniu. Wzrost siły jest powolny aż do uzyskania poziomu umożliwiającego wyciskanie. W tej fazie procesu dochodzi do ciasnego ułożenia ziaren, zależnego m.in. od ich kształtu i wielkości tarcia między nimi. Powstała wtedy nierównomierność zagęszczenia (pokazana poprzez rozkład twardości HB na przekroju

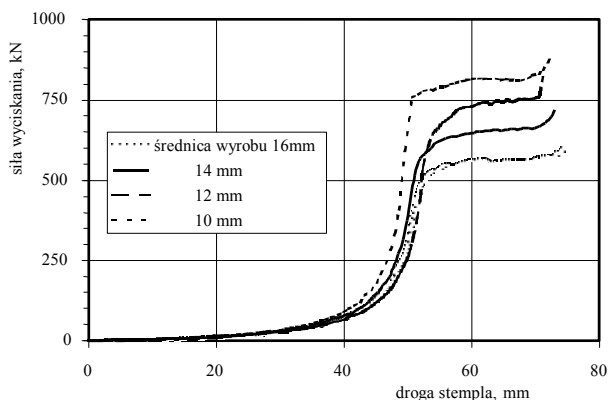
wsadu - rys. 6) nie ma istotnego wpływu na zmienność własności na długości wykonanego wyrobu.

Natomiast zauważalne jest zwiększenie twardości na przekroju poprzecznym przy powierzchni wyrobu w stosunku do jego środka [7]. Poziomą siłą wyciskania proszku sypkiego zależy od wielkości stopnia odkształcenia i grubości krążka Al zamykającego otwór matrycy (rys. 7, 8), przy czym dobór grubości krążka ma dodatkowe znaczenie dla jakości powierzchni wyrobu.



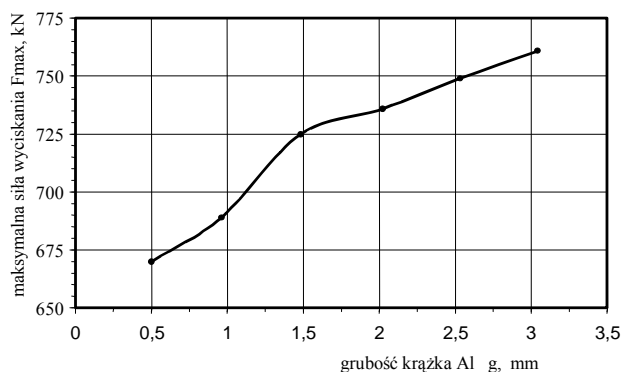
Rys. 6. Rozkład twardości HB na wzdłużnym przekroju częściowo wyciśniętego wsadu z proszku RAL 1 (450 µm) sypkiego

Fig. 6. Distribution of hardness on the longitudinal cross section of partly extruded compacts from the loose powder



Rys. 7. Charakterystyki siłowe procesu wyciskania na zimno sypkiego proszku RAL 1 (frakcja 450 µm, grubość krążka zamykającego matrycę  $g = 1$  mm,  $V_s = 60$  mm/min)

Fig. 7. Force characteristics of cold extrusion of loose aluminium powder



Rys. 8. Wpływ grubości krążka zamykającego matrycę na wielkość siły maksymalnej przy wyciskaniu na zimno sypkiego proszku RAL1 (frakcja 450 µm, średnica wyrobu 14 mm,  $V_s = 60$  mm/min)

Fig. 8. The influence of the thickness of the die closing disk on the maximum extrusion load during cold extrusion of a loose Al powder

## UWAGI KOŃCOWE

Przeprowadzone próby otrzymywania długich wyrobów z metalicznych materiałów porowatych na drodze wyciskania bez udziału podwyższonej temperatury dały zachęcające rezultaty. Korzystny wpływ wysokich trójosiowych naprężeń ściskających pozwala wykonywać wyroby z materiałów trudno odkształcalnych, a nawet sypkich. Szczególnie interesująca jest tu technika użycia jako wsadu mieszaniny różnych sypkich proszków o składzie celowo dobranym pod kątem dalszych zastosowań.

Porównanie obu omawianych technologii pod kątem wymaganych sił wyciskania nie wykazuje wyraźnych różnic. Jednak wstępne prasowanie wsadu przed wyciskaniem umożliwia użycie smaru technologicznego, co wydaje się istotne dla materiałów drobnoziarnistych, natomiast materiały gruboziarniste (a nawet granulaty, drobne ścinki itp.) zaleca się poddawać wyciskaniu w stanie sypkim. Wpływ wyciskania na zimno na własności wyrobu zarówno pod względem ich poziomu, jak i jednorodności jest korzystny, a dalsza ich zmiana jest możliwa na drodze typowej obróbki cieplnej w zależności od rodzaju stosowanego wsadu i przeznaczenia.

*Praca finansowana ze środków KBN  
(grant nr 7 T08B 002 17).*

## LITERATURA

- [1] German R.M., Powder Metallurgy Science, 2<sup>nd</sup> Edition, Metal Powder Industries Federation, Princeton 1994.
- [2] Ishizaki K., Komarneni S., Nanko M., Porous Materials. Process technology and applications, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 1998.
- [3] Rutkowski W., Projektowanie właściwości wyrobów spiekanych z proszków i włókien, PWN, Warszawa 1977.

- [4] Galanty M., Libura W., Compresibility of Metals Powder in various Modes of Deformation, Mater. Konfer. EUROMAT'95, Padwa-Wenecja, Symp. G, 151-156.
- [5] Galanty M., Libura W., Zasadziński J., Evaluation of Force Parameters for Aluminium Powder Extrusion, Advanced Technology of Plasticity, Vol. III, Proc. 6<sup>th</sup> ICTP, Norymberga, Sept. 19-24, 1999, 1871-1876.
- [6] Galanty M., Zasadziński J., Prasowanie i wyciskanie materiałów proszkowych o silnie zróżnicowanych własnościach mechanicznych, Rudy i Metale Nieżelazne 1999, 44, 12, 672-675.
- [7] Galanty M., Kazanowski P., Kansuwan P., Misiolek W.Z., Consolidation of Metal Powders during Extrusion Process, Journal of Materials Processing Technology, Special Issue - Proc. of the Conf. Metal Forming 2002, Birmingham, September 2002 (w druku).

Recenzent  
Marcin Leonowicz