

Dr inż. Hanna WIŚNIEWSKA-WEINERT, mgr inż. Łukasz KĘDZIA,
mgr inż. Justyna OZWONIAREK, Tomasz WIŚNIEWSKI
Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań

Porównanie parametrów wytwarzania oraz właściwości mechanicznych i fizycznych próbek na bazie proszków Astaloy Mo oraz ATOMET 4901

*Comparison of manufacturing parameters and physical
and mechanical properties of powder samples on the basis
of Astaloy Mo and ATOMET 4901*

Streszczenie

W artykule przedstawione zostały wyniki badań porównawczych przeprowadzonych dla dwóch wyjściowych materiałów proszkowych: Astaloy Mo firmy Hoganas S.A. oraz ATOMET 4901 firmy QMP Metal Powders GmbH. Badania miały na celu wskazanie różnic właściwości mechanicznych oraz fizycznych wytworzonych próbek, przy zastosowaniu takich samych parametrów wytwarzania: prasowania, spiekania wstępnego, dokuwania, spiekania wysokiego oraz azotonawęglania. Przeprowadzone badania dotyczyły pomiarów gęstości, wyznaczenia porowatości oraz pomiarów twardości po operacjach spiekania wysokiego oraz azotonawęglania. Przeprowadzone zostały także badania wytrzymałości na ściskanie po operacjach spiekania wysokiego oraz azotonawęglania.

Abstract

In the paper the results of comparative research of two powder materials: Astaloy Mo of Hoganas S.A. and ATOMET 4901 of QMP Metal Powders GmbH are presented. Main goal of the studies is to show the differences of mechanical and physical properties of manufactured samples. This same parameters of manufacturing: pressing, pre-sintering, forging, sintering and cyaniding were applied. Researches include density measuring, porosity determination and hardness measuring after sintering and cyaniding. After sintering and cyaniding compression strength investigations were made as well.

Słowa kluczowe: metalurgia proszków, gęstość, porowatość, materiały proszkowe

Key words: powder metallurgy, density, porosity, powder materials

1. WSTĘP

Wraz ze wzrostem zainteresowania przemysłu technologiami metalurgii proszków powiększa się asortyment oraz ilość przedsiębiorstw oferujących materiały proszkowe. Dobór odpowiedniego składu chemicznego, granulacji oraz metody otrzymywania proszków ma decydujący wpływ na dobór parametrów wytwarzania części proszkowych, zwłaszcza części o wysokiej gęstości, a także pośrednio

na właściwości mechaniczne otrzymywanych wyrobów.

W Instytucie Obróbki Plastycznej przeprowadzone zostały badania porównawcze parametrów wytwarzania oraz właściwości mechanicznych wyrobów wytworzonych z materiałów proszkowych od dwóch dostawców: Hoganas S.A. oraz QMP Metal Powders GmbH. Badania dotyczyły szczególnie pomiarów gęstości oraz wymiarów po każdej operacji

technologicznej, obserwacji mikrostruktury oraz badań wytrzymałościowych.

2. MATERIAŁ DO BADAŃ

W celu przeprowadzenia badań opracowane zostały dwie mieszanki proszkowe, które oznaczono symbolami:

- AstMo-007 - mieszanka przygotowana na bazie proszku Astaloy Mo firmy Hoganas S.A.
- ATMo-007 – mieszanka przygotowana na bazie materiału proszkowego ATOMET 4901 firmy QMP Metal Powders GmbH.

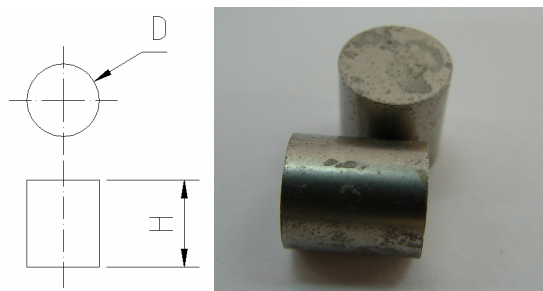
Mieszanki proszkowe mieszano w mieszarce laboratoryjnej przez 4 godziny w temperaturze 60°C. Skład chemiczny oraz właściwości fizyczne proszków dostarczonych przez producentów przedstawione są w tabeli 1.

Tabela 1. Porównanie składów chemicznych oraz właściwości fizyczne proszków wyjściowych [1, 2]
Table 1. Comparison of chemical compositions and physical properties of the initial powders [1, 2]

1. Skład chemiczny materiałów bazowych					
materiał	skład				
	C	O	S	Mn	Mo
	[%]				
Astaloy Mo	< 0,01	0,1	-	-	1,50
ATOMET 4901	0,01	0,15	0,007	0,20	1,50
2. Właściwości fizyczne					
materiał	parametry				
	gęstość nasypowa*	plynięcie*	gęstość zielona*	ciśnienie zagęszczenia*	wytrzymałość zielona**
	[g/cm ³]	[sec/50g]	[g/cm ³]	[MPa]	[MPa]
Astaloy Mo	3,10	24	7,12	400-800	15
ATOMET 4901	3,00	25	7,00	600	9,5
* dane wg producentów proszku					
** wytrzymałość zielona dla ciśnienia prasowania 600 MPa					

Kształt wytwarzanych próbek przedstawiono na rysunku 1. Średnica walca D = 10 mm, natomiast wysokość H = 12 mm. Badania próbek przeprowadzono po operacjach technologicznych: prasowania (geometria oraz gęstość zielona), spiekania wstępnego (geometria, gęstość, porowatość oraz mikrostruktura),

dokuwania (pomiary geometrii, gęstości, porowatości oraz obserwacja mikrostruktury), spiekania wysokiego (geometria, gęstość, porowatość, twardość, obserwacja mikrostruktury, badania wytrzymałości na ściskanie) oraz azotonawęglania (geometria, porowatość, twardość, obserwacje mikrostruktury, badania wytrzymałości na ściskanie).



Rys. 1. Geometria badanych próbek, D - średnica walca, H - wysokość walca

Fig. 1. Geometry of the investigated samples, D - cylinder diameter, H - cylinder height

3. WYNIKI BADAŃ

Pomiary gęstości

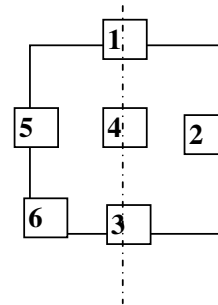
Pomiary gęstości, zgodnie z normą PN-EN ISO 2738:2001 [3] przeprowadzono na próbkach po operacjach spiekania wstępnego, dokuwania oraz spiekania wysokiego. Po operacji prasowania analitycznie wyznaczono gęstość zieloną wytwarzanych próbek. Wyniki pomiarów gęstości przedstawiono w tabeli 2. W nawiasach podane zostały wartości gęstości teoretycznej-wyznaczonej analitycznie.

Tabela 2. Porównanie wyników pomiarów gęstości
Table 2. Comparison of the density measurement results

operacja	gęstość [g/cm ³]	
	AstMo-007	ATMo-007
prasowanie	6,94 – 6,99*	6,92 - 6,93*
spiekanie wstępne	6,81-6,97 (6,92 - 6,98)	6,82-6,85 (6,89 - 6,91)
dokuwanie	7,62 (6,56 – 7,60)	7,49 (7,51 – 7,52)
spiekanie wysokie	7,45 (7,54 – 7,55)	7,49 (7,51 – 7,52)
* wyznaczona gęstość zielona		

Pomiary porowatości

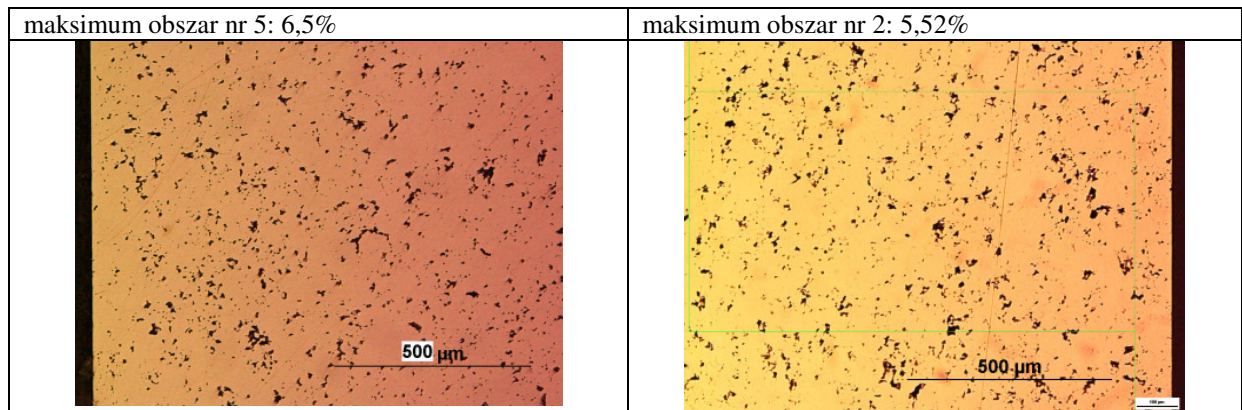
Porowatość wytworzonych próbek wyznaczona została na mikroskopie optycznym NIKON ECLIPSE L-150, z zastosowaniem oprogramowania LUCIA. Pomiary wykonywano w sześciu punktach pokazanych na rysunku 2. Średnie wyniki pomiarów oraz obrazy z obszarów o maksymalnej i minimalnej wartości po operacjach spiekania wstępnego i dokuwania przedstawiono na rysunku 3. Wyniki pomiarów porowatości po operacji spiekania wysokiego przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 2. Rozkład obszarów pomiarowych do wyznaczenia porowatości

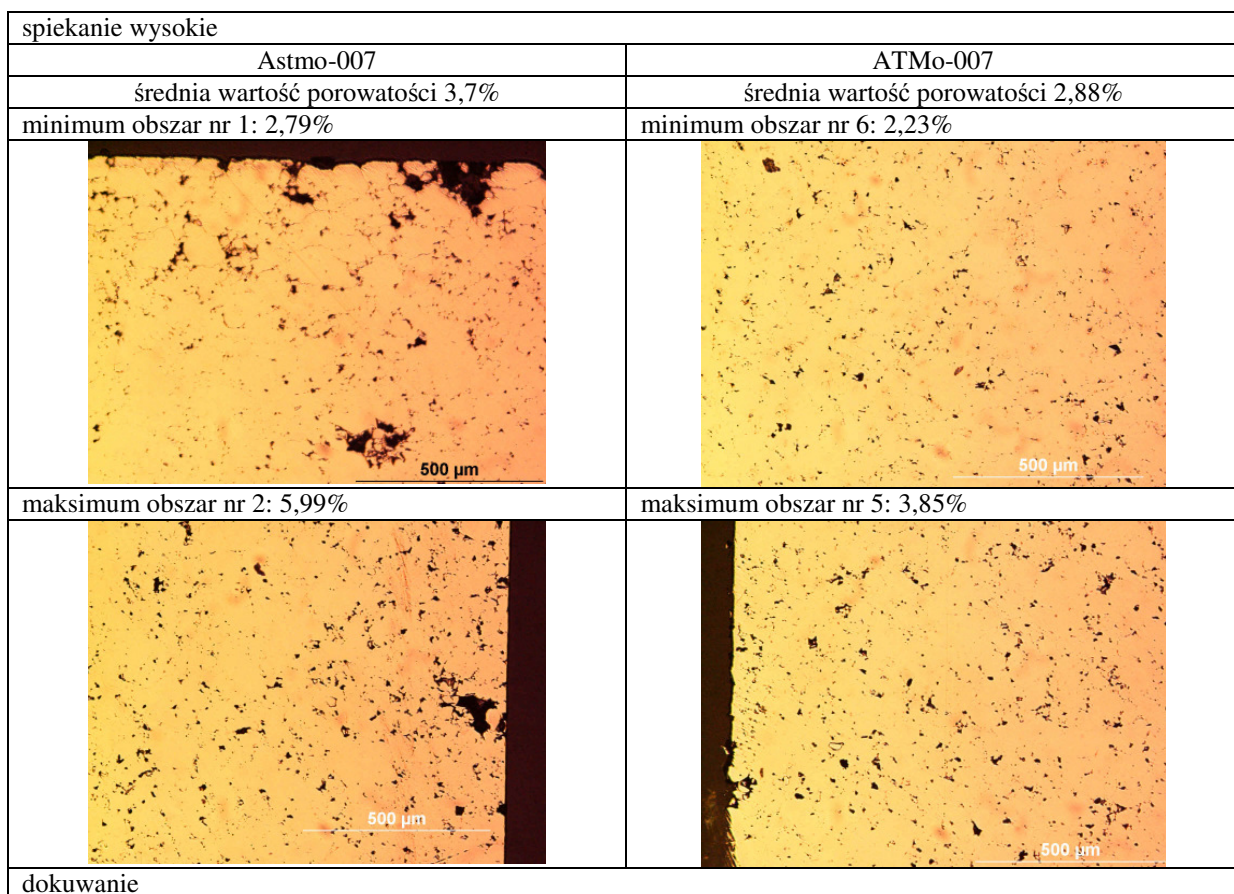
Fig. 2. Distribution of measurement areas for porosity determination

spiekanie wstępne	
AstMo-007	ATMo-007
średnia wartość porowatości 9,72%	średnia wartość porowatości 9,72%
minimum obszar nr 6: 6,53%	minimum obszar nr 5: 6,15%
maksimum obszar nr 4: 13,26%	maksimum obszar nr 4: 9,6%
dokuwanie	
AstMo-007	ATMo-007
średnia wartość porowatości 4,50%	średnia wartość porowatości 4,24%
minimum obszar nr 6: 2,4%	minimum obszar nr 6: 2,45%



Rys. 3. Wyniki pomiarów porowatości próbek z mieszanki proszkowej AstMo-007 po operacjach spiekania wstępnego i dokuwania

Fig. 3. The results of porosity measurements of samples made of AstMo-007 powder blend after initial sintering and repressing



Rys. 4. Wyniki pomiarów porowatości próbek z mieszanki proszkowej ATMo-007 po operacji spiekania wysokiego

Fig. 4. The results of porosity measurements of samples made of ATMo-007 powder blend after high sintering

Dla każdego z obszarów poddanych obserwacji mikroskopowej wyznaczono porowatość. Po operacji spiekania wstępnego dla próbek wytworzonych z mieszanki AstMo-007 kształtowała się ona w zakresie 6,53 do 13,26% w zależności od obserwowanego obszaru. Najniższą porowatością charakteryzują się obszary przy powierzchniach styku ze stemplami górnym i dolnym (obszary oznaczone na rysunku 2 jako obszar 1, 3 i 6). Najniższą gęstością charakteryzują się obszary w środku przekroju próbki zarówno w kierunku równoległym jak i prostopadłym do osi próbki (obszar nr 4). Średnia porowatość wyznaczona z sześciu obszarów dla próbek z materiału AstMo-007 wyniosła 9,72%, a dla materiału ATMo - 6,15%.

Po dokuwaniu dla próbek wytworzonych z mieszanki AstMo-007 porowatość kształtowała się w zakresie 2,4 – 6,5% w zależności od badanego obszaru. Najniższą porowatością charakteryzują się obszary przy powierzchniach styku ze stemplami górnym i dolnym (obszary oznaczone na rysunku 2 jako obszar 1, 3 i 6). Najniższą gęstością charakteryzują się natomiast obszary w środku przekroju próbki zarówno w kierunku równoległym jak i prostopadłym próbki (obszary nr 4, 5). Średnia porowatość wyznaczona z 6 obszarów dla próbek z materiału AstMo-007 wyniosła 4,50%, a dla materiału ATMo-007- 4,24%.

Po operacji spiekania wysokiego zaobserwowano dobrą korelację wyników pomiarów gęstości wg PN-EN ISO 2738:2001 oraz porowatości. Korelacja taka nie występuje pomiędzy wynikami porowatości a pomiarami gęstości obliczanych analitycznie. Zatem wyznacznikiem gęstości mogą być jedynie pomiary wykonane wg PN-EN ISO 2738:2001, a wyniki pomiarów analitycznych można traktować tylko orientacyjnie.

Po procesie azotonawęglania zaobserwowano spadek porowatości w stosunku do porowatości po procesie spiekania wysokiego. Zmiany te są wynikiem dyfuzji pierwiastków międzywęzłowych w głąb materiału porowatego. Dla próbek wykonanych z mieszanki AstMo-007 średnia wartość porowatości wynosi 2,61%, a po spiekaniu wysokim wynosi 3,7%. Dla próbek wykonanych z mieszanki ATMo-007 średnia war-

tość porowatości po azotonawęglaniu wyniosła 1,98%, a po spiekaniu wysokim 2,88%.

Pomiary twardości

Pomiary twardości przeprowadzono dla próbek wykonanych z dwóch materiałów po operacji spiekania wysokiego oraz po operacji azotonawęglania. Po spiekaniu wysokim wyniki pomiarów przedstawione są w skali HRB natomiast po azotonawęglaniu w skali HRC.

Wyniki pomiarów twardości różnią się w zależności od gęstości próbek. Różnica pomiędzy gęstością próbek z mieszanki AstMo-007: 7,45 g/cm³, a mieszanką ATMo-007: 7,49 g/cm³ nie jest duża, jednak ma ona stosunkowo duży wpływ na twardości próbek. Średnie wartości twardości po operacji wysokiego spiekania, dla próbek z mieszanek AstMo-007 i ATMo-007, wynoszą odpowiedni 38,5 HRB oraz 41,7 HRB. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki pomiarów twardości po operacji spiekania wysokiego

Table 3. Hardness measurement results after high sintering

materiał	HRB		
	pomiar 1	pomiar 2	pomiar 3
mieszanka AstMo-007	38,2	38,4	39
	średnia: 38,5		
mieszanka ATMo-007	49	39	37,2
	średnia: 41,7		

W celu podwyższenia właściwości mechanicznych próbek zastosowano obróbkę cieplnochemiczną. Wytypowane próbki z mieszanki AstMo-007 oraz z mieszanki ATMo-007 poddano operacji azotonawęglania. Po operacji azotonawęglania próbki pomierzono i poddano je obserwacji mikroskopowej oraz badaniom twardości HRC. Wyniki pomiarów twardości przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wyniki pomiarów próbek po operacji azotonawęglania

Table 4. Sample measurement results after nitriding with carbonizing

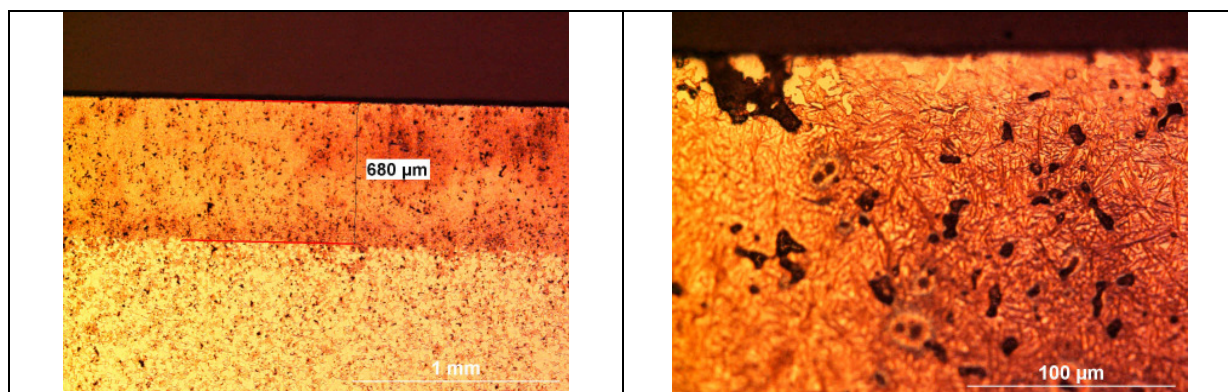
materiał	HRC		
	pomiar 1	pomiar 2	pomiar 3
mieszanka AstMo-007	57,4	57,1	57,7
	średnia: 57,4		
mieszanka ATMo-007	62,3	58,7	60
	średnia: 60,3		

Rozbieżność wyników pomiarów twardości dla mieszanki ATMo-007 może być wynikiem miejscowego pojawienia się przy powierzchni niewielkiej warstwy węglików (w zakresie kil-

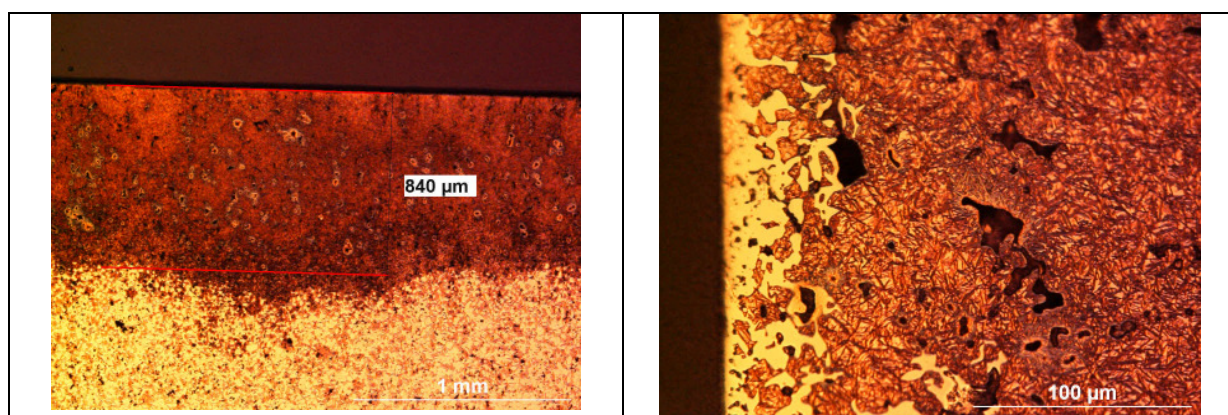
ku mikrometrów). Takiej warstwy nie zaobserwowano na próbkach z mieszanki AstMo-007.

Badania mikrostruktury

Na rysunkach 5 oraz 6 przedstawiono obrazy mikrostruktur próbek trawionych po operacji azotonawęglania. Na próbkach wykonanych z mieszanki AstMo-007 oraz z mieszanki ATMo-007 widoczna jest warstwa o podwyższonej zawartości węgla w stosunku do rdzenia. Struktura przy powierzchni wskazuje na wysokowęglowy martenzyt natomiast w rdzeniu obserwujemy dwoistofazową strukturę ferrytyczno-martenzytyczną. Widoczna jest także wyraźna warstwa wzbogacona w pierwiastki międzywęzłowe (C i N).



Rys. 5. Obrazy mikrostruktury próbki z mieszanki proszkowej AstMo-007 po operacji azotonawęglania
Fig. 5. Images of the microstructure of an AstMo-007 powder blend sample after nitriding with carbonizing

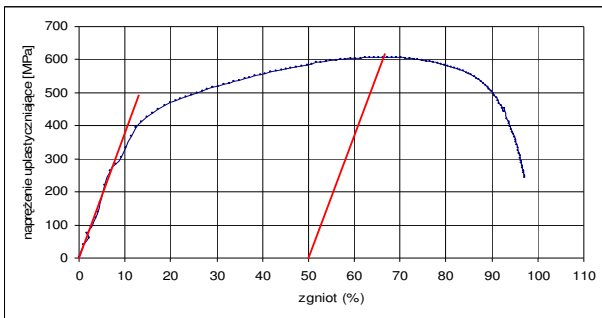


Rys. 6. Obrazy mikrostruktury próbki z mieszanki proszkowej ATMo-007 po operacji azotonawęglania
Fig. 6. Images of the microstructure of an ATMo-007 powder blend sample after nitriding with carbonizing

Grubość warstwy azotonawęglonej dla próbek z mieszanki AstMo-007 wynosi około 680-700 μm natomiast w dla próbek wykonanych z mieszanki ATMo-007 wynosi 840-900 μm . Ponieważ parametry procesu azotonawęglania dla wszystkich próbek były identyczne zwiększona głębokość dyfuzji pierwiastków międzywęzłowych C oraz N związana jest prawdopodobnie z większą porowatością materiału w obszarach przypowierzchniowych próbek.

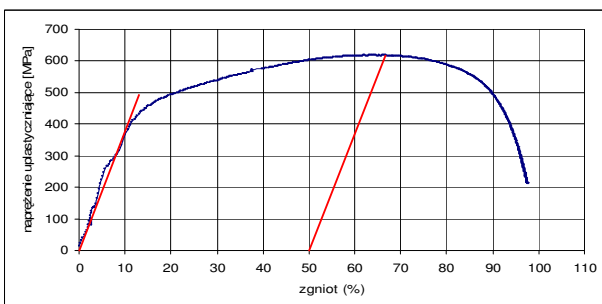
Badania wytrzymałości na ściskanie

Po operacjach spiekania wysokiego oraz azotonawęglania przeprowadzono badania wytrzymałości na ściskanie. Na podstawie otrzymanych wyników zależności siły od przemieszczenia wyznaczono zależność wartości zgniotu od naprężenia uplastyczniającego. Wyniki badań dla próbek po operacji spiekania wysokiego przedstawiono na rysunkach 7 i 8.



Rys. 7. Zależność wartości zgniotu od naprężenia uplastyczniającego dla próbek wykonanych z mieszanki AstMo-007 po operacji spiekania wysokiego

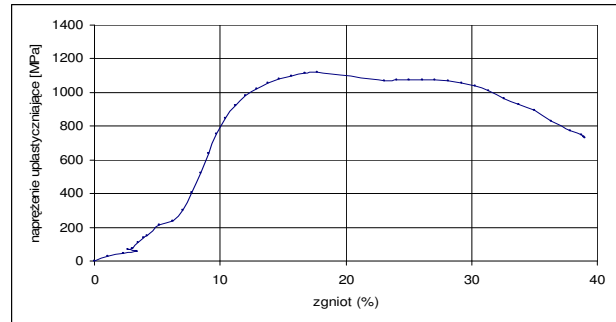
Fig. 7. The dependence of draft value on the yield stress for AstMo-007 samples after high sintering



Rys. 8. Zależność wartości zgniotu od naprężenia uplastyczniającego dla próbek wykonanych z mieszanki ATMo-007 po operacji spiekania wysokiego

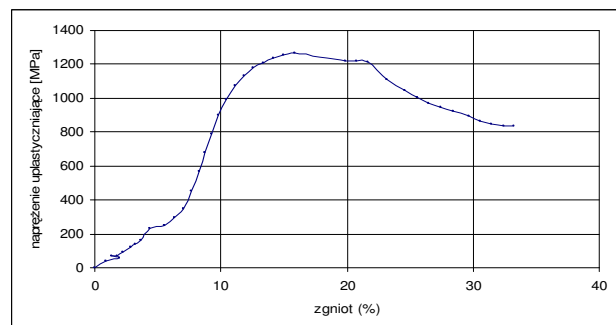
Fig. 8. The dependence of draft value on the yield stress for ATMo-007 samples after high sintering

Próbki z obu mieszanek po wysokim spiekaniu charakteryzują się dużą plastycznością - odkształcenie próbek wynosi około 90%. Natomiast po operacji azotonawęglania dla obu wariantów plastyczność znacznie maleje. Wyniki badań na ściskanie przedstawione są na rysunkach 9 i 10.



Rys. 9. Zależność wartości zgniotu od naprężenia uplastyczniającego dla próbek wykonanych z mieszanki AstMo-007 po operacji azotonawęglania

Fig. 9. The dependence of draft value on the yield stress for AstMo-007 powder blend after nitriding with carbonizing

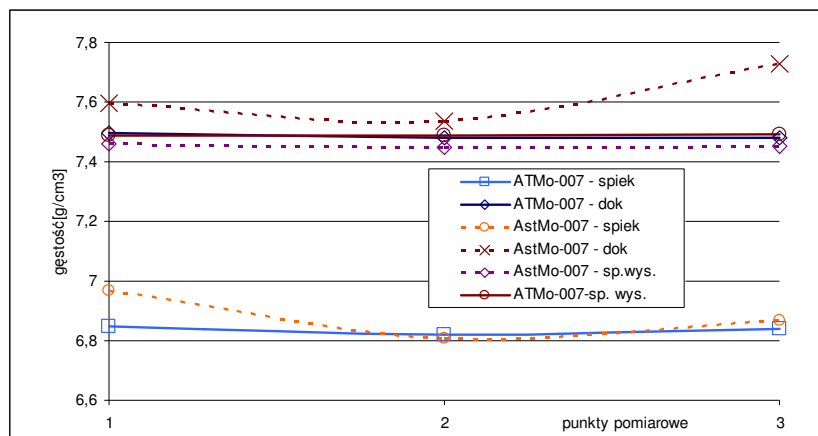


Rys. 10. Zależność wartości zgniotu od naprężenia uplastyczniającego dla próbek wykonanych z mieszanki ATMo-007 po operacji azotonawęglania

Fig. 10. The dependence of draft value on the yield stress for ATMo-007 powder blend after nitriding with carbonizing

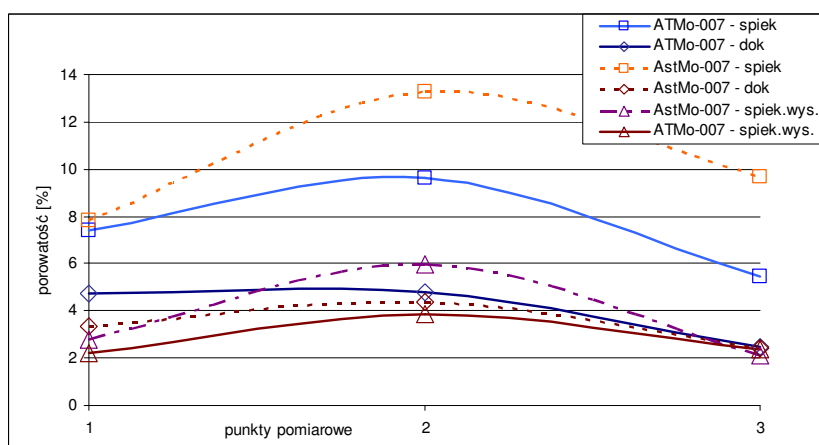
4. PODSUMOWANIE

Zgodnie z opracowanym planem badań wykonano dwie partie próbek z materiałów proszkowych na bazie proszków Astaloy Mo oraz ATOMET 4901. Celem badań było porównanie parametrów wytwarzania i właściwości mechanicznych próbek wykonanych z materiałów proszkowych na bazie żelaza dwóch różnych producentów.



Rys. 11. Wartości gęstości dla próbek wykonanych z mieszanki na bazie proszku Astaloy Mo oraz dla próbek wykonanych z mieszanki na bazie proszku ATOMET 4901

Fig. 11. Density values for samples made of a blend based on Astaloy Mo powder and for samples made of a blend based on ATOMET 4901 powder



Rys. 12. Wartości porowatości dla próbek wykonanych z mieszanki na bazie proszku Astaloy Mo oraz dla próbek wykonanych z mieszanki na bazie proszku ATOMET 4901

Fig. 12. Porosity values for samples made of a blend based on Astaloy Mo powder and for samples made of a blend based on ATOMET 4901 powder

Gęstości próbek po operacji spiekania wstępnego oraz dokuwania są wyższe dla materiału na bazie proszku Astaloy Mo. Dla próbek po spiekaniu wysokim najwyższa wartość gęstości uzyskana została dla proszku Astaloy Mo. Dla wszystkich operacji rozkład gęstości jest stabilniejszy dla próbek z mieszanki na bazie proszku ATOMET 4901. Porównanie wyników gęstości dla obu mieszanek po każdej operacji przedstawione jest na rysunku 11. Porównanie wyników pomiarów porowatości przedstawiono na rysunku 12.

Analiza wyników wykazała:

- wyższe wartości gęstości próbek na bazie proszku Astaloy Mo niż dla próbek wyko-

nanych z mieszanki na bazie proszku ATOMET 4901;

- wyższe twardości po operacji wysokiego spiekania i azotonawęglania dla próbek wykonanych z mieszanki na bazie proszku ATOMET 4901 niż dla próbek na bazie proszku Astaloy Mo;
- wyższa wytrzymałość na ściskanie dla próbek na bazie proszku ATOMET 4901 niż dla próbek na bazie proszku Astaloy Mo.

Powyższa analiza potwierdza możliwość zastosowania tańszego proszku ATOMET 4901 jako zamiennika materiału proszkowego Astaloy Mo do wykonywania wyrobów typu

koło zębate, dźwignia, ramię o złożonym kształcie itp.

Pracę zrealizowano w ramach działalności statutowej finansowanej przez Ministerstwo Edukacji i Nauki: NM 901 01 001 – Doskonalenie technologii kształtowania metodami metalurgii proszków części o podwyższonych własnościach eksploatacyjnych.

5. LITERATURA

- [1] <http://www.hoganas.com/>
- [2] <http://qmp-powders.com/>
- [3] PN-EN ISO 2738:2001 „Spiekane materiały metaliczne z wyjątkiem węglików spiekanych- Przepuszczalne spiekane materiały metaliczne- Oznaczenie gęstości, zawartości oleju i porowatości otwartej”