

Bolesław Formanek¹, Krzysztof Szymański², Bożena Szczucka-Lasota³
 Politechnika Śląska, Katedra Nauki o Materiałach, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

KOMPOZYTOWE PROSZKI ZE STOPU MIĘDZYMETALICZNEGO Fe-Ti-Al Z TLENKIEM ALUMINIUM

W pracy scharakteryzowano kompozytowe proszki ze stopu międzymetalicznego Fe-Ti-Al z tlenkiem aluminium. Założono, że powstające podczas syntezy wysokotemperaturowej SHS fazy międzymetaliczne charakteryzować się będą wysokimi własnościami fizykochemicznymi, które zapewnią wysokie właściwości użytkowe natrykiwanym cieplnie powłokom. Metodami mikroskopii świetlnej, skaningowej i dyfrakcji rentgenowskiej określono strukturę, skład chemiczny i fazowy kompozytowych proszków. W zależności od składu chemicznego mieszanin wyjściowych otrzymywano kompozytowe spieki, proszki i powłoki zawierające fazy międzymetaliczne FeAl, Fe₄Al₁₃, TiAl, TiAl₃ oraz dwie odmiany alotropowe tlenku glinu. Wyniki badań potwierdziły właściwą procedurę technologiczną otrzymywania kompozytowych proszków o założonym składzie fazowym i dyspersyjnej strukturze. Proszki natrykiwano metodą plazmową. Scharakteryzowano strukturę i skład chemiczny powłok. Powłoki wytworzono z proszków kompozytowych otrzymanych przez aluminotermiczną redukcję ilmenitu.

Słowa kluczowe: kompozytowe proszki, kompozytowe powłoki, fazy międzymetaliczne, SHS, natrykiwanie cieplne

COMPOSITE POWDERS FROM AN INTERMETALLIC Fe-Ti-Al ALLOY WITH ALUMINIUM OXIDE

In the paper, a composite powders from an intermetallic Fe-Ti-Al alloy with aluminium oxide is characterized. It has been assumed that the intermetallic phases formed during high-temperature synthesis (SHS) will be characterized by very good physical and chemical properties which ensure high functional qualities of thermally sprayed coatings. By means of light and scanning microscopy as well as X-ray diffraction methods, the structure and chemical and phase compositions of the composite powders were determined. Depending on the chemical composition of the initial mixtures, composite sinters, powders and coatings were obtained which contained intermetallic FeAl, Fe₄Al₁₃, TiAl and TiAl₃ phases as well as two allotropic forms of alumina. The research results have corroborated the appropriateness of the technological procedure of obtaining composite powders with a predetermined phase composition and dispersion structure. The powders were sprayed by plasma method. The structure and chemical composition of the coatings have been characterized. The coatings were produced from composite powders obtained by aluminothermal ilmenite reduction.

Key words: composite powders, composite coatings, intermetallic phases, SHS, thermal spraying

WSTĘP

Analiza literaturowa zagadnienia otrzymywania proszków kompozytowych w układzie Fe-Ti-Al z tlenkiem glinu wskazuje, że zakres prac badawczych przedstawionych w artykule jest nowy i aktualny ze względu na własności fizykochemiczne stopów faz międzymetalicznych. Badania takie są realizowane w krajowych projektach badawczych.

CEL I ZAKRES BADAŃ

Zasadniczym celem pracy było określenie możliwości i opracowanie metody wytwarzania proszków zawierających stop faz międzymetalicznych z układu Fe-Ti-Al i tlenek glinu, przeznaczonych do natrykiwania cieplnego lub spiekania [1-15]. Postawiono tezę, że materiały proszkowe do natrykiwania cieplnego powłok

o wysokiej zawartości faz międzymetalicznych i ceramicznych o założonym składzie chemicznym i fazowym, a tym samym o założonych i żądanych własnościach fizykochemicznych, można otrzymać metodą samorozwijającej się syntezy wysokotemperaturowej SHS (self propagating high temperature synthesis). Założono, że powstający wówczas tlenek glinu o wysokiej dyspersji, ze względu na swoje własności, powinien być efektywnym i funkcjonalnym wypełniaczem kompozytowych mieszanin.

Zakres zrealizowanych badań niezbędny dla opracowania metody wytwarzania kompozytowych proszków obejmował:

- wybór metody wytwarzania proszków,
- opracowanie założeń, koncepcji i procedury technologicznej wytwarzania kompozytowych proszków,

^{1,2} dr inż., ³ mgr inż.

- opracowanie parametrów samorozwijającej się syntezy wysokotemperaturowej mieszaniny proszków wyjściowych o zadanym składzie chemicznym,
- określenie struktury i składu fazowego proszków otrzymywanych w wybranych procesach syntezy wysokotemperaturowej,
- określenie przydatności zsyntezowanych proszków do natryskiwania cieplnego powłok,
- określenie struktury kompozytowych powłok natryskiwanych cieplnie metodami: naddźwiękową i plazmową.

METODYKA BADAŃ

Dla wytwarzania mieszanin proszków przeznaczonych dla wysokotemperaturowej syntezy wybrano rudy tytanu: rutil i ilmenit oraz proszek aluminium. Przy doborze składu chemicznego mieszanin uwzględniano reakcje syntezy aluminotermicznej, w której produkty powstawałyby zgodnie z prawami zachowania mas i stosunków wielokrotnych. Mając na uwadze fakt, że aluminotermiczna redukcja może przebiegać niestabilnie z silnym efektem egzotermicznym, mieszaniny wyjściowe „rozcieńczono” dodatkiem 30, 50 i 70% wagowych rutilu i tlenku glinu. Przy przygotowywaniu mieszanin uwzględniano wpływ granulacji substratów na stabilność przebiegu reakcji syntezy. Stosowano rozpylany proszek aluminium o granulacji ok. 56 μm oraz proszek płatkowy. Składy chemiczne rud tytanowych przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Skład fazowy materiałów wyjściowych do procesów syntezy

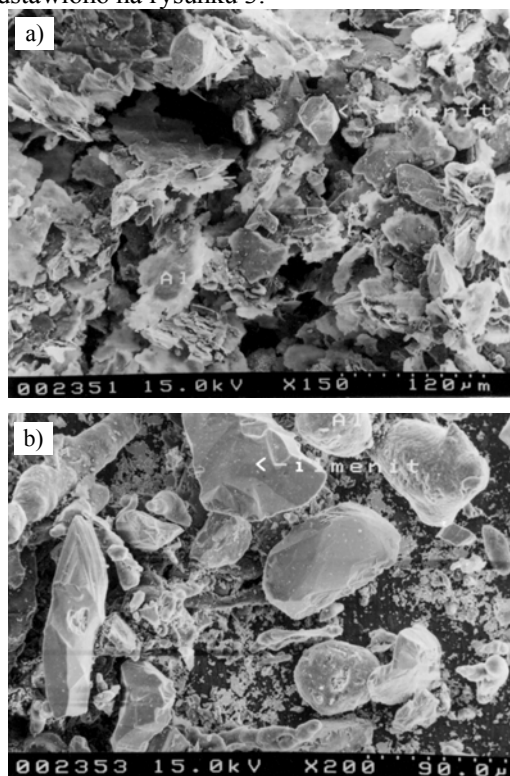
TABLE 1. Chemical composition of initial materials for the synthesis

Rutil								
Skład	TiO ₂	ZrO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Nb ₂ O ₅	V ₂ O ₅	Poz
%	94,8	0,61	2,14	0,31	0,18	0,78	0,33	0,85
Ilmenit								
Skład	TiO ₂	FeO	SiO ₂	P	S			
%	42	56	1,5	0,013	0,20			

Skład fazowy rud tytanu oraz morfologię mieszanin ilmenitu z proszkiem aluminium, które były stosowane do syntezy, przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

Założono, że redukcja proszku rutilu i ilmenitu w samorozwijającej się syntezie wysokotemperaturowej przeprowadzona będzie ze stechiometryczną, wynikającą z reakcji ilością proszku aluminium. Schemat proce-

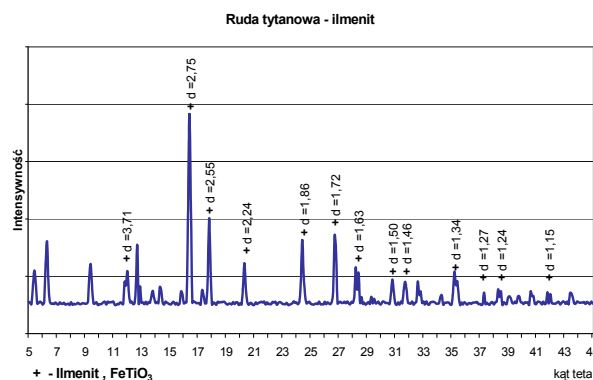
dury technologicznej wytwarzania spieków i proszków przedstawiono na rysunku 3.



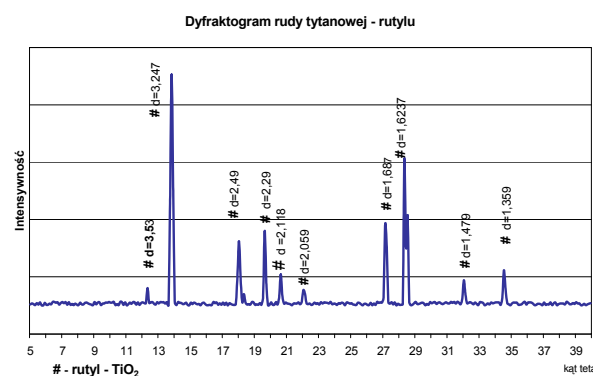
Rys. 1. Morfologia mieszanin proszków wyjściowych: a) ilmenit-aluminium płatkowe, b) ilmenit-aluminium rozpylane

Fig. 1. Initial powders mixtures' morphology: a) ilmenite-flake aluminium, b) ilmenite-sprayed aluminium

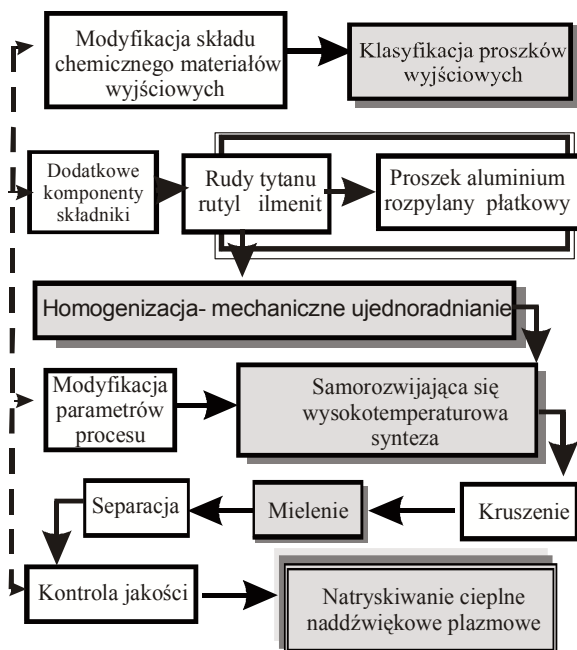
a)



b)



Rys. 2. Dyfraktogram rudy tytanowej: a) ilmenitu, b) rutylu
Fig. 2. Titanic iron ore diffraction pattern: a) ilmenite, b) rutile



Rys. 3. Schemat procedury technologicznej otrzymywania kompozytowych proszków

Fig. 3. Scheme of the technological procedure of obtaining composite powders

Badania termogravimetryczne przyjętych do syntez mieszanin proszkowych przeprowadzono w celu określenia zakresu temperatur oraz rodzaju efektów cieplnych zachodzących przemian. Badania wykonano na termoanalyzerze GDTD 16 firmy Setaram. Procesy syntezy prowadzono w kontenerach ceramicznych i stalowych, w których umieszczono dwie termopary Pt-PtRh połączone z rejestratorem X-Y. Przykładowe składy mieszanin chemicznych stosowanych do syntezy przedstawiono w tabeli 2.

TABELA 2. Przykładowe składy mieszanin chemicznych stosowanych do syntezy
TABLE 2. Exemplary compositions of chemical mixtures used for the synthesis

Nr	Nazwa procesu syntezy	Skład mieszaniny do syntez (proporcje składników ruda/aluminium)
1	rutyl I	240 / 100
2	rutyl II	240 / 180
3	ilmenit I	100 / 45
4	ilmenit II	100 / 75
5	ilmenit III	100 / 60
6	A (ilmenit III + 30% rutyl II)	podstawowe składniki wg pkt. 5 + 30% wag. rozcieńczenia wg pkt. 2.
7	B (ilmenit III + 50% rutyl II)	podstawowe składniki wg pkt. 5 + 50% wag. rozcieńczenia wg pkt. 2.
8	C (ilmenit III +	podstawowe składniki wg pkt. 5 +

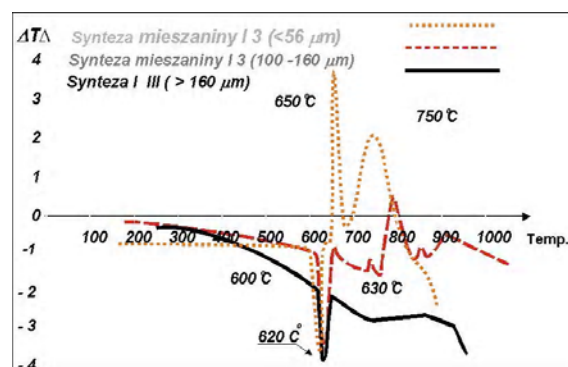
	70% rutyl II)	70% wag. rozcieńczenia wg pkt. 2.
9	ilmenit III + Al ₂ O ₃	podstawowe składniki wg pkt. 5 + 25% wag. Al ₂ O ₃

WYNIKI BADAŃ

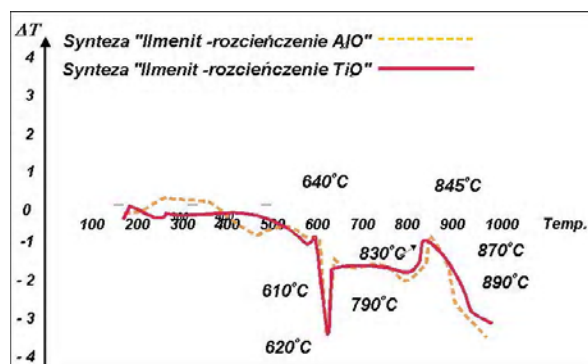
Przeprowadzono różnicową analizę termiczną mieszanin ilmenitu III o zmiennej granulacji ilmenitu (< 56 μm, 71÷100 μm, > 160 μm) oraz mieszaniny ilmenitu rozcieńczonej dodatkiem 25% wag. Al₂O₃ i 30% mieszaniny rutylu II (zawierającej TiO₂).

Analiza przebiegu krzywych termicznych (rys. 4) przeznaczonych do syntezy spieków wykazała, że po stopieniu aluminium (efekt endotermiczny zachodzący w zakresie temperatur 883÷913 K/610÷640°C) dla wszystkich krzywych zachodzą reakcje egzotermiczne o różnej intensywności.

a)



b)



Rys. 4. Krzywe termicznej analizy różnicowej otrzymane w syntezie mieszaniny ilmenitu III: a) o zmiennej granulacji ilmenitu (< 56 μm, 71÷100 μm, > 160 μm), b) rozcieńczonej dodatkiem 25% wag. Al₂O₃ i 30% mieszaniny rutylu II (zaw. TiO₂)

Fig. 4. Differential thermal analysis curves obtained in a synthesis of ilmenite III mixture: a) of variable ilmenite granulation (< 56 μm, 71÷100 μm, > 160 μm), b) diluted with an additive of 25 wt-% Al₂O₃ and 30% of rutile II mixture (containing TiO₂)

Intensywność zachodzących reakcji jest zależna od składu chemicznego mieszaniny, granulacji ziarn rudy tytanowej oraz dodatków rozcieńczających: tlenku glinu lub tlenku tytanu. Określone na podstawie termicznej analizy różnicowej temperatury początku

i końca zachodzących przemian oraz rodzaje przemian zamieszczono w tabeli 3. Uzyskane wyniki z termicznej analizy różnicowej stały się podstawą doboru parametrów dla procesu samorozwijającej się syntezy wysokotemperaturowej SHS.

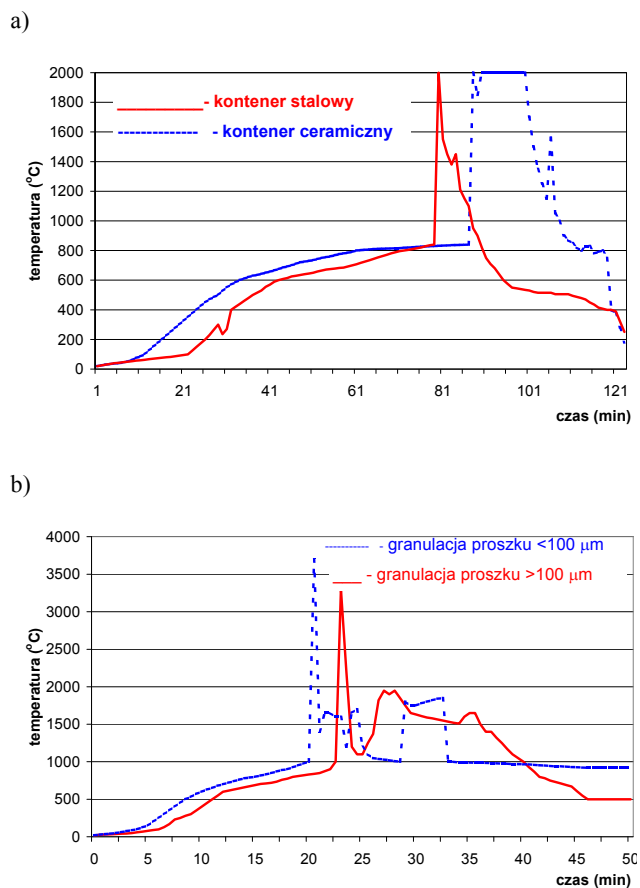
TABELA 3. Temperatury reakcji określone na podstawie termicznej analizy różnicowej

TABLE 3. Reaction temperatures determined on the basis of a differential thermal analysis

Typ mieszaniny	Temperatury reakcji, K/°C				Typ reakcji intensywność (ΔT , K)	Uwagi
	początek		koniec			
	K	°C	K	°C		
Rutyl II	423	150	433	160	— (0,02)	parowanie wody
	543	270	593	320	— (0,5)	rozkład aktywatora
	943	670	968	695	— (2,5)	topienie aluminium
	1193	920	1228	955	⊕ (2)	
Ilmenit I	883	610	913	640	— (3)	topienie aluminium
	1103	830	1143	870	⊕ (0,3)	
Ilmenit III	883	610	913	640	— (3,5)	topienie aluminium
	1053	780	1093	820	⊕ (4)	
	1103	830	1163	890	⊕ (0,5)	
Ilmenit III < 56 μm	873	600	903	630	— (3)	topienie aluminium
	908	635	953	680	⊕ (4,5)	
	963	690	1073	800	⊕ (2,5)	
Ilmenit III 100÷160 μm	873	600	903	630	— (3)	topienie aluminium
	983	710	998	725	⊕ (0,25)	
	1003	730	1083	810	⊕ (1,8)	
Ilmenit III > 160 μm	873	600	903	630	— (2)	topienie aluminium
	993	720	1173	900	⊕ (0,3)	
Ilmenit III + rutyl II B	883	610	913	640	— (2,5)	topienie aluminium
	1083	810	1193	920	⊕ (0,8)	
Ilmenit III + Al ₂ O ₃	878	605	908	635	— (1,5)	topienie aluminium

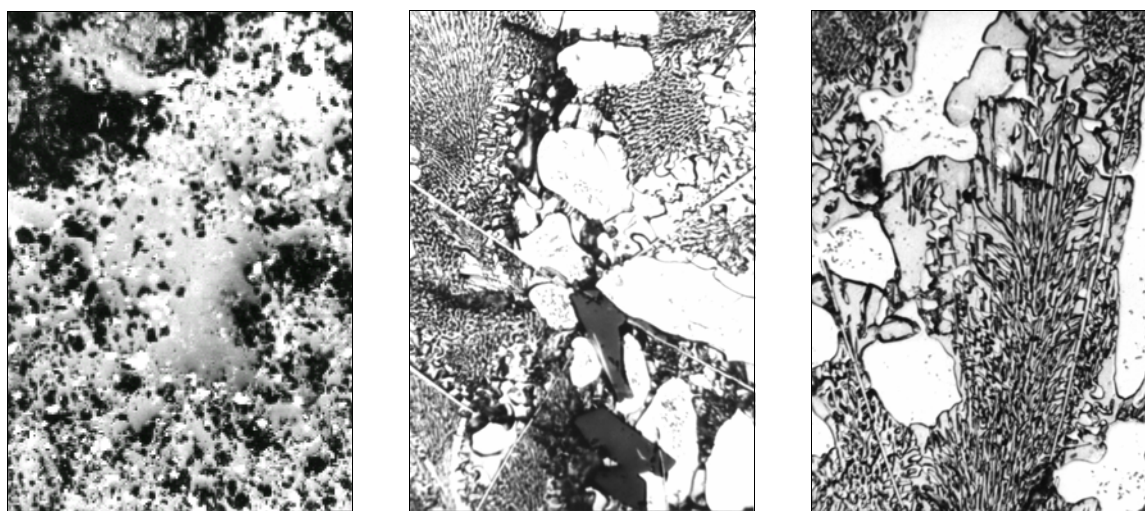
— endotermiczna, ⊕- egzotermiczna, obniżona temp. topienia proszku Al wynika z dodatku aktywatorów

Mieszanki rud tytanu o różnej granulacji poddano syntezie SHS w kontenerze stalowym i ceramicznym. Zarejestrowane zmiany temperatury podczas procesu wykazały, że kontener stalowy obniża temperaturę spieku, a wyższa granulacja ilmenitu spowalnia przebieg syntezy (rys. 5a, b).



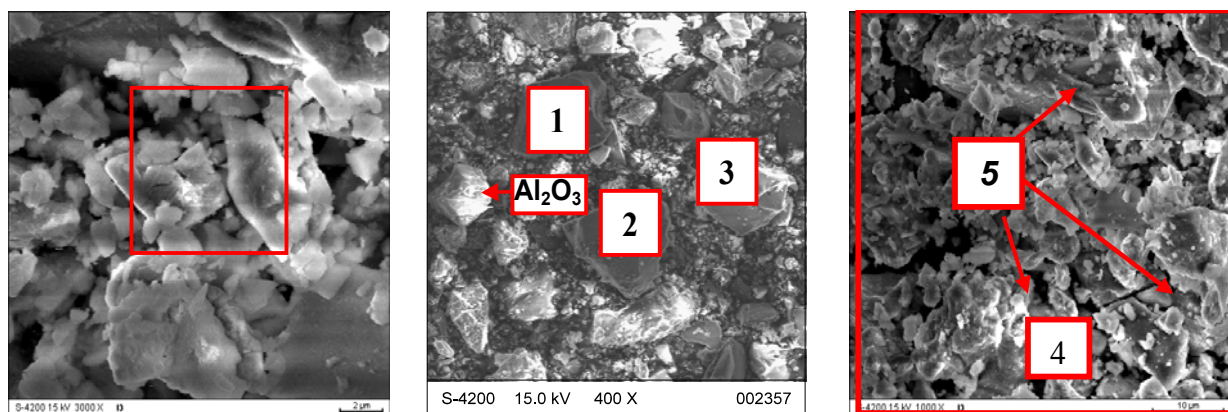
Rys. 5. Krzywe przebiegu zmian temperatury dla syntezy SHS mieszaniny - ilmenit III: a) w kontenerze stalowym i ceramicznym, b) o wielkości ziarna powyżej i poniżej 100 μm

Fig. 5. Curves of the temperature changes course for the mixture SHS synthesis-ilmenite III: a) in a steel and ceramic containers, b) of grain size above and below 100 μm



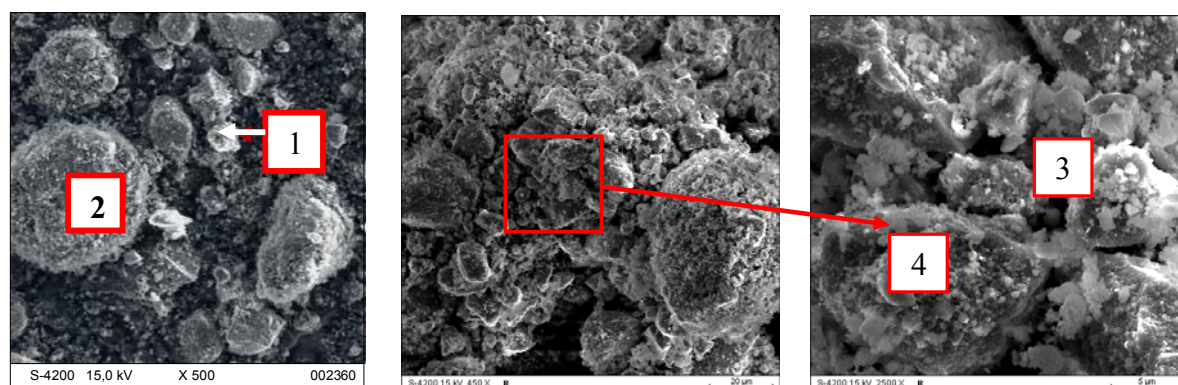
Rys. 6. Wybrane fragmenty stopu faz międzymetalicznych z układu Fe-Ti-Al otrzymanych z syntezy mieszaniny ilmenit III

Fig. 6. Selected fragments of an alloy of intermetallic phases from the Fe-Ti-Al system, obtained in a synthesis of ilmenite III mixture



Rys. 7. Morfologia proszku otrzymanego z redukcji mieszaniny ilmenit III z zaznaczonymi miejscami analizy EDX

Fig. 7. Morphology of the powder obtained in a reduction of ilmenite III mixture with marked EDX analysis places



Rys. 8. Morfologia proszków otrzymanych w wyniku syntezy aluminotermicznej rutyl II z zaznaczonymi miejscami analizy EDX

Fig. 8. Morphology of powders obtained in an aluminothermal synthesis of rutile II with marked EDX analysis places

TABELA 4. Skład chemiczny proszków otrzymanych w syntezie mieszaniny ilmenit III

TABLE 4. Chemical composition of powders obtained in a synthesis of ilmenite III mixture

Pkt analizy	Zawartość % at. (wag.) danego pierwiastka					Prawdopodobne fazy
	Al	Ti	Fe	O	Inne	
1	35,93 (23,55)	27,43 (31,92)	30,95 (41,99)	4,57 (1,78)	Si - 1,12	TiAl, Al ₁₃ Fe ₄
2	59,23 (45,25)	5,86 (7,95)	25,98 (41,08)	7,40 (3,35)	Mn - 1,52	Al ₂ O ₃ , AlFe
3	42,76 (29,54)	9,06 (11,11)	37,24 (53,26)	9,32 (3,82)	Mn - 1,61	Al ₂ O ₃ , FeTi, Al ₁₃ Fe ₄
4	27,23 (17,55)	26,66 (30,40)	35,11 (46,67)	6,62 (2,52)	Si - 4,28	
5	59,85 (68,81)	2,81 (5,74)	-	37,33 (25,45)	-	Al ₂ O ₃ , Al ₃ Ti, Al

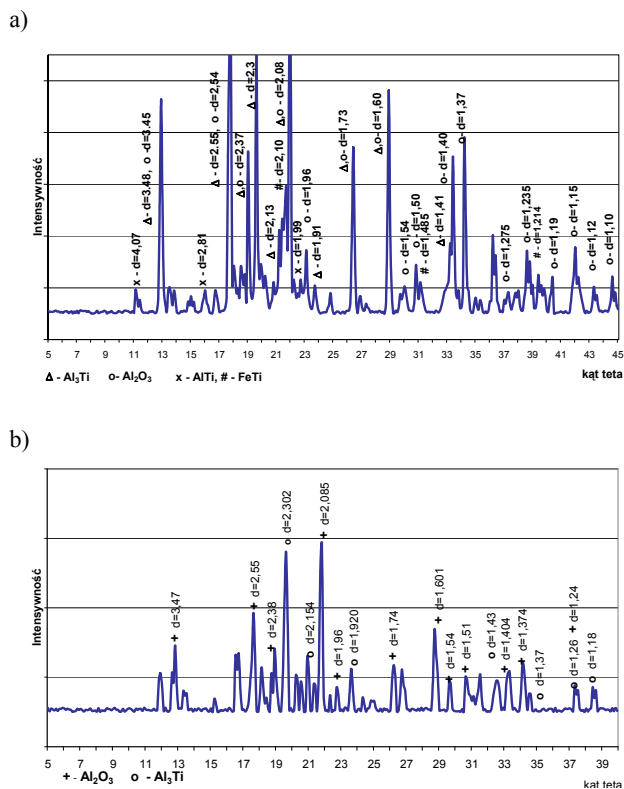
W procesie wysokotemperaturowej syntezy otrzymano spieki, które po rozdrobnieniu stanowiły materiał dla wytworzenia kompozytowych proszków przeznaczonych dla natryskiwania cieplnego powłok. Uzyskane spieki i proszki charakteryzowały się jednorodną strukturą (rys. rys. 6-8) o założonym składzie chemicznym

(tabele 4-6) i fazowym (rys. rys. 9-12, tab. 6). Wybrany zsyntezowany kompozytowy proszek o składzie fazowym FeAl-TiAl-Al₂O₃ natryskiwano cieplnie metodą plazmową. Strukturę, skład fazowy, rozmieszczenie pierwiastków oraz skład chemiczny w poszczególnych miejscach powłoki przedstawiono na rysunkach 13-14 i w tabeli 7.

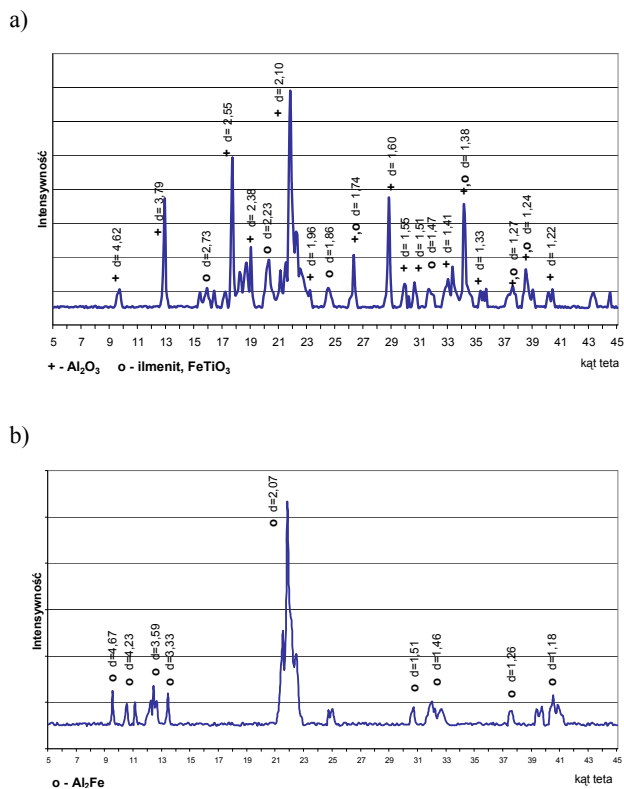
TABELA 5. Skład chemiczny proszków otrzymanych z syntezy rutyl II

TABLE 5. Chemical composition of powders obtained in a synthesis of rutile II

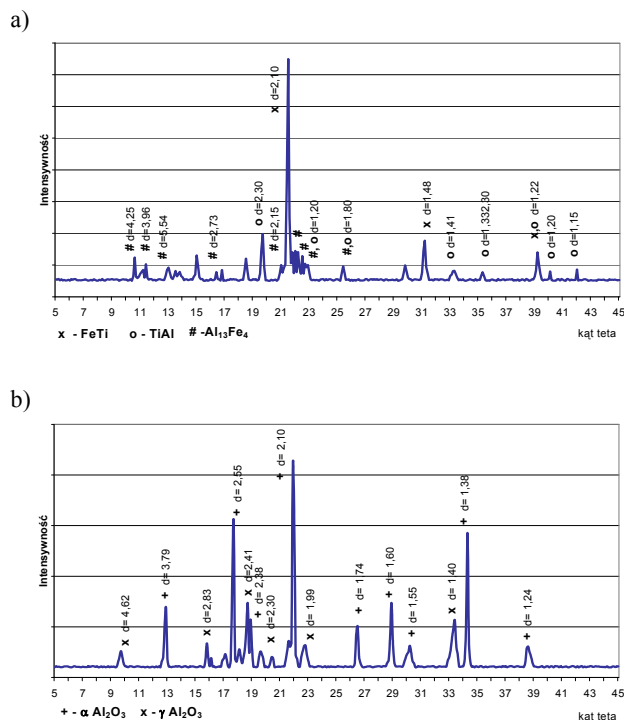
Pkt analizy	Zawartość % at. (wag.) danego pierwiastka				Prawdopodobne fazy
	Al	Ti	O	Inne	
1	58,38 (61,35)	10,23 (19,09)	31,39 (19,56)	-	Al ₂ O ₃ , Al ₃ Ti
2	70,21 (67,59)	12,91 (22,07)	15,24 (8,70)	Si -1,64	Al ₂ O ₃ , Al ₃ Ti, Al
3	29,07 (23,54)	44,26 (63,65)	26,67 (12,81)	-	Al ₂ O ₃ , Ti ₃ Al
4	42,18 (43,38)	17,57 (32,07)	40,25 (24,55)	-	Al ₂ O ₃ , TiAl



Rys. 9. Dyfraktogramy proszków otrzymanych z syntezy mieszaniny: a) rutyl II, b) B (ilmenit III+50% rutyl II)
 Fig. 9. Diffraction patterns of powders obtained in a synthesis of the mixture: a) rutile II, b) B (ilmenite III+50% rutile II)



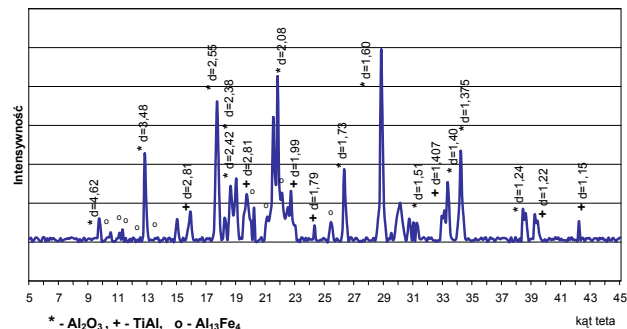
Rys. 10. Dyfraktogramy proszków otrzymanych z syntezy mieszaniny C (tj. ilmenit III+70% rutyl II): a) część o przewadze faz ceramicznych, b) część o przewadze faz metalicznych
 Fig. 10. Diffraction patterns of powders obtained in a synthesis of the mixture C (ilmenite III+70% rutile II): a) portion with prevailing ceramic phases, b) portion with prevailing metallic phases



Rys. 11. Dyfraktogramy proszków otrzymanych z syntezy mieszaniny ilmenit II: a) część metaliczna spieku, b) część o przewadze faz ceramicznych
 Fig. 11. Diffraction patterns of powders obtained in a synthesis of ilmenite II mixture: a) metallic portion of sinter, b) portion with prevailing ceramic phases

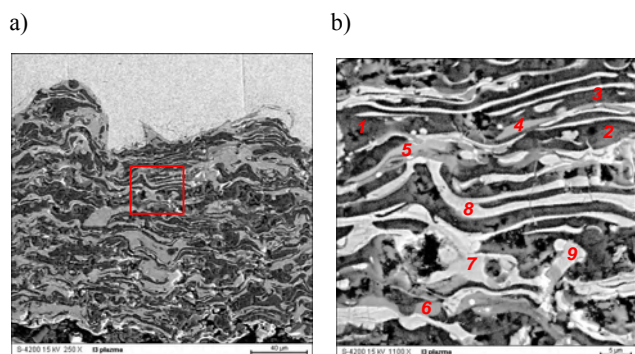
TABELA 6. Skład fazowy spieków otrzymanych w wyniku syntezy SHS
 TABLE 6. Phase composition of sinters obtained in SHS syntheses

Nr	Nazwa procesu syntezy	Zidentyfikowane fazy w spiekach
1	rutyl I	Al ₃ Ti, Al ₂ O ₃
2	rutyl II	Al ₃ Ti, Al ₂ O ₃
3	ilmenit I	Al ₂ O ₃ , FeTiO ₃ , Al ₂ Fe
4	ilmenit II	FeTi, TiAl, Al ₁₃ Fe ₄ , α,γ-Al ₂ O ₃
5	ilmenit III	TiAl, Al ₁₃ Fe ₄ , α,γ-Al ₂ O ₃
6	A (ilmenit III+30% rutyl II)	TiAl, Al ₁₃ Fe ₄ , α,γ-Al ₂ O ₃
7	B (ilmenit III+50% rutyl II)	Al ₃ Ti, AlTi, FeTi, α,γ-Al ₂ O ₃
8	C (ilmenit III+70% rutyl II)	Al ₃ Ti, Al ₁₃ Fe ₄ , α,γ-Al ₂ O ₃
9	ilmenit III+Al ₂ O ₃	TiAl, Al ₁₃ Fe ₄ , α,γ-Al ₂ O ₃



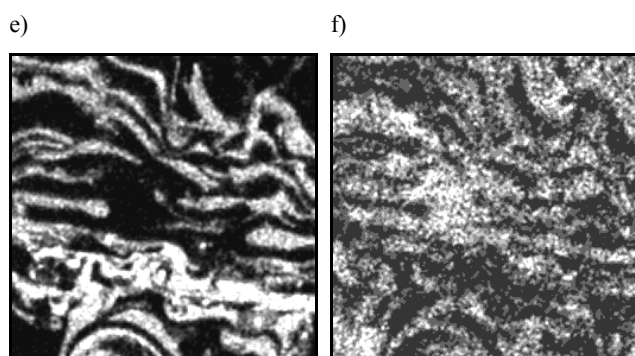
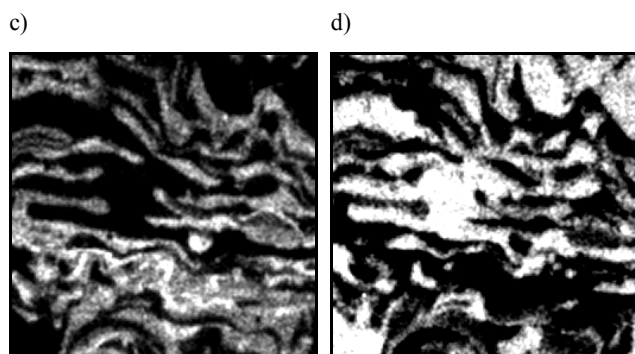
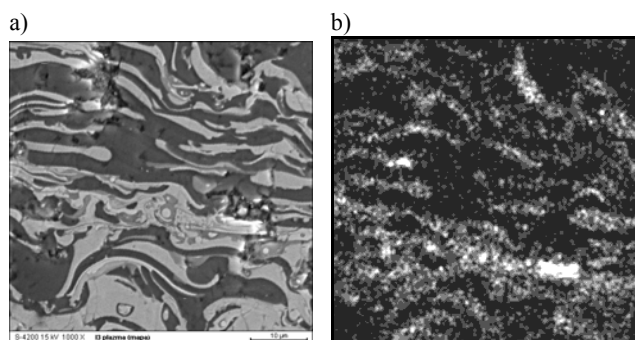
Rys. 12. Dyfraktogram proszków otrzymanych z syntezy mieszaniny ilmenit III

Fig. 12. Diffraction patterns of powders obtained in a synthesis of ilmenite III mixture



Rys. 13. Mikrostruktura powłoki natryskiwanej plazmowo: a) małe powiększenie 250x, b) szczegóły rozkładu składu chemicznego w obszarach powłoki, pow. 1100x

Fig. 13. Microstructure of a plasma sprayed coating: a) small magnification 250x, b) details of microsegregation areas in plasma sprayed coatings of mag. 1100x



Rys. 14. Mapy rozkładu pierwiastków we fragmencie powłoki typu ilmenit III-APS: a) analizowany fragment powłoki, b) rozkład krzemu, c) tytanu, d) aluminium, e) żelaza, f) tlenu

Fig. 14. Maps of elements distribution in a fragment of ilmenite III-APS coating: a) coating fragment analyzed, b) silicon in analyzed fragment, c) titanium, d) aluminium, e) iron, f) oxygen

TABELA 7. Skład chemiczny powłoki ilmenit III-APS określony w mikroobszarach przedstawionych na rysunku 13

TABLE 7. Chemical composition of ilmenite III-HVOF coating determined in the microregions presented in Fig. 13

Skład chemiczny				
Natrysk APS				
punkt	Al	Ti	Fe	O
% at.				
wart. śr.	39,10	14,77	15,12	27,37
1	51,64	4,85	0,79	41,36
2	47,84	5,77	2,29	40,26
3	50,47	6,38	1,15	40,19
4	51,26	32,03	9,33	5,68
5	38,65	39,28	14,17	5,33
6	63,04	32,12	2,45	
7	32,98	23,62	42,29	
8	16,99	36,92	43,52	
9	27,13	30,10	39,76	

PODSUMOWANIE

Samorozprzestrzeniająca się synteza wysokotemperaturowa jest technologicznie i ekonomicznie uzasadnionym procesem wytwarzania kompozytowych proszków o założonym i złożonym składzie fazowym. Wytworzone w procesie SHS spieki, a następnie proszki zawierają fazy międzymetaliczne z układów równowagi Fe-Al i Ti-Al oraz tlenek glinu. Proszki charakteryzują się morfologią charakterystyczną dla metody ich otrzymywania.

W drodze badań ustalono, że skład fazowy kompozytowych spieków jest uzależniony nie tylko od składu chemicznego mieszanin wyjściowych proszków, lecz również od wybranych czynników technologicznych. Wprowadzenie do składu mieszanin inertnego tlenku glinu lub reaktywnego rutyłu pozwoliło ograniczyć efekt egzotermiczny syntezy mieszaniny zawierającej ilmenit i proszek aluminium. Zsyntezowany proszek stopu faz międzymetalicznych FeAl i TiAl z tlenkiem glinu jest efektywnym materiałem do natryskiwania cieplnego powłok.

LITERATURA

- [1] Yoshihara M., Miura K., Intermetallics 3(995), 337-336.
- [2] Formanek B., Serkowski S., Szymański K., Zastosowanie procesów samorozprzestrzeniającej się syntezy wysokotemperaturowej i mechanicznego stopowania powierzchni w produkcji proszków do natryskiwania cieplnego, III Ogólnopolska Konferencja Naukowa, Obróbka Powierzchniowa, Częstochowa-Kule 1996.

- [3] Formanek B., Hetmańczyk M., Szymański K., Szopiński K., High temperature synthesis of composite powders for thermally sprayed erosion-corrosion resistant coatings, Proc. 5th International Conference Films & Coatings'98, Saint Petersburg 23-25.09.1998.
- [4] Tomasi A., Gialanella S., Nazmy M., Riva W., Staubli M., in Kim Y.-W., Dimiduk D.M., Loretto M.H. (eds.) Gamma Titanium Aluminides 1999, The Minerals, Metals & Materials Society, Warrendale 1999, 805-810.
- [5] Formanek B., Maciejny A., Szymański K., Szala J., Pająk L., Przeliorz R., Wysokotemperaturowa synteza SHS kompozytowych proszków zawierających aluminidki żelaza i tytanu oraz tlenek glinu - warunki syntezy i struktura proszków, Inżynieria Materiałowa 1999, 3, 4.
- [6] Formanek B., Hetmańczyk M., Szymański K., Szala J., Szopiński K., Pająk L., Mikrostruktura, odporność na zużycie abrazyjne i erozyjne natryskiwanych cieplnie kompozytowych powłok FeAl-TiAl-Al₂O₃, FeAl-TiC-Al₂O₃, Konf. Obróbka Powierzchniowa, Częstochowa-Kule 1999, Inżynieria Materiałowa 1999, 5.
- [7] Kuang J.P., Harding R.A., Campbell J., Investigation into refractories as crucible and mould materials for melting and casting g-TiAl alloys, Material Science and Technology 2000, 16.
- [8] Formanek B., Szymański K., Hetmańczyk M., SHS synthesis of composite powders with FeAl, TiAl intermetallic phases and dispersion oxides, AMME 2000, Gdańsk 12-15.10.2000.
- [9] Formanek B., Aluminocarbothermal synthesis of composite powders with intermetallic phases and dispersion oxides, AMME 2000, Gdańsk 12-15.10.2000.
- [10] Formanek B., Composite powders with intermetallic and ceramic phases obtained by SHS and MA processes, Konferencja Jubileuszowa 40 lat Metalurgii Proszków w Białorusi, Organizowana przez Koncern Proszkowej Metalurgii i Akademię Nauk Białorusi, referat wygłoszony i wyróżniony, 26-28.10.2000, Mińsk.
- [11] Formanek B., Szymański K., Hetmańczyk M., SHS synthesis of composite powders with FeAl, TiAl intermetallic phases and dispersion oxides, AMME 2000, 12-15.10.2000 Gdańsk.
- [12] Formanek B., Kompozytowe proszki z fazami międzymetalicznymi i ceramicznymi, Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe nt. Stopy na ośniewie faz międzymetalicznych, Warszawa 19.10.2000.
- [13] Formanek B., Iljuszhenko A., Bielajew A., Letsko A., Szymański K., Szczucka-Lasota B., Natryskiwanie nadźwiękowe HVOF powłok ze stopu międzymetalicznego z układu Fe-Al, Konferencja Obróbka Powierzchniowa, Kule, Inżynieria Materiałowa 2002, 5.
- [14] Formanek B., Szymański K., Szczucka-Lasota B., Oxide scale formed of thermally sprayed coatings with FeAl-Cr₃C₂-Al₂O₃ composite coatings, Problems of Corrosion and Corrosion Protection of Materials, Physico-chemical Mechanics of Materials, Special Issue nr 3, Lviv, maj 2002.
- [15] Formanek B., Intermetallic powders and thermally sprayed coatings with high corrosion resistant properties, November, Meeting Program Genk, Belgium 2002.

Recenzent
Andrzej Lis