Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym
Modern material technologies in aerospace industry

INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

KONFERENCJA
RADY PARTNERÓW CZT AERONET
i PANELE EKSPERTÓW
9 - 10 Grudnia 2013

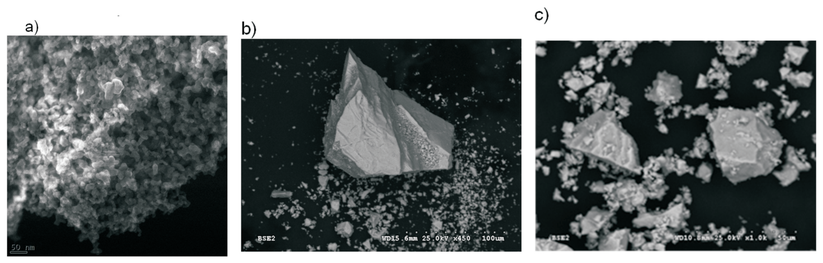
ZB 11

Materiały lotnicze o zaawansowanej strukturze (monokryształ, krystalizacja kierunkowa)
Aeronautical materials of advanced structure (monocrystal, directional crystallization)

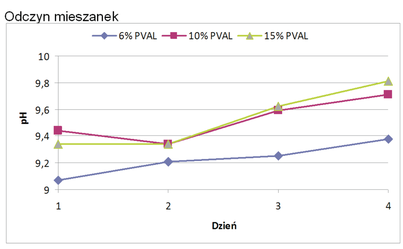
Politechnika Rzeszowska, Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Uniwersytet Rzeszowski

Wyniki badań
Results

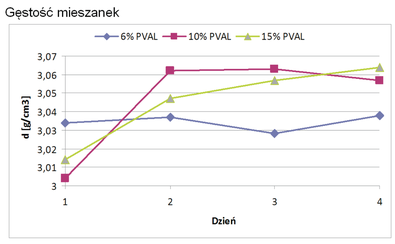
Mieszanki formierskie z Y2O3 ze spoiwem zawierającym koloidalny tlenek aluminium
Skład mieszanek:
1. Spoiwo wodorozpuszczalne na bazie koloidalnego Al2 O3
   Evonik; pH = 7,3; gęstość = 1,43g/cm3; lepkość (kubek Zahna) = 7,35s
2. Proszki Y2 O3 (a) 200 # i (b) 325 #
3. Materiały pomocnicze
- Spoiwo:
  - poli(alkohol winylowy) 26-88 o Mw=26000 g/mol, st. hydrolizy 88% (Mowiol Niemcy)
- środek antypienny
- środek zwilżający
- woda destylowana



Rys. 1. Materiały na ceramiczne mieszanki formierskie: a) spoiwo Evonik, b) Y2O3 mesh 200, c) Y2O3 mesh 325
Fig. 1. Materials for ceramic mixtures: a) Evonik binder, b) Y2O3 mesh 200, c) Y2O3 mesh 325

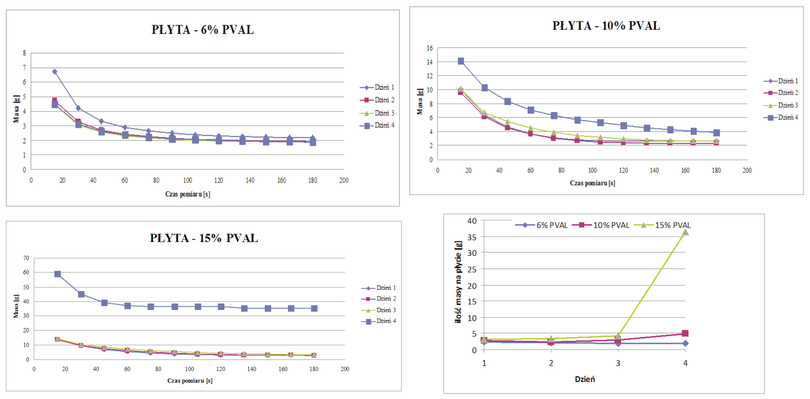


Rys. 2. Wpływ zawartości polimeru i czasu na odczyn mieszanek ceramicznych
Fig. 2. Polymer content and reaction time effect on ceramic mixtures



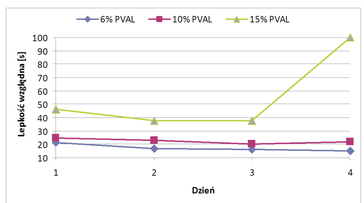
Rys. 3. Wpływ zawartości polimeru i czasu na gęstość mieszanek ceramicznych
Fig. 3 Polymer content and reaction time effect on the density of ceramic mixtures

Test płyty mieszanek



Rys. 4. Wpływ zawartości polimeru i czasu na zwilżalność mieszanek ceramicznych (test płyty)
Fig. 4. Polymer content and time effect on ceramic mixtures wettability (plate test)

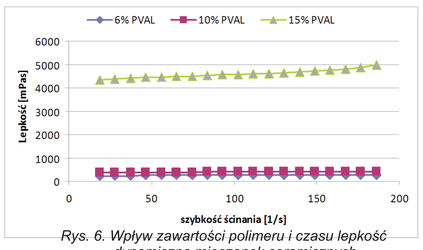
Lepkość względna mieszanek



Rys. 5. Wpływ zawartości polimeru i czasu na lepkość względną mieszanek ceramicznych

Fig. 5. Polymer content and time effect on the ceramic mixtures relative viscosity

Lepkość dynamiczna mieszanek



Rys. 6. Wpływ zawartości polimeru i czasu lepkość dynamiczną mieszanek ceramicznych
Fig. 6. Polymer content and time effect on the ceramic mixtures dynamic viscosity

Wnioski
Conclusions

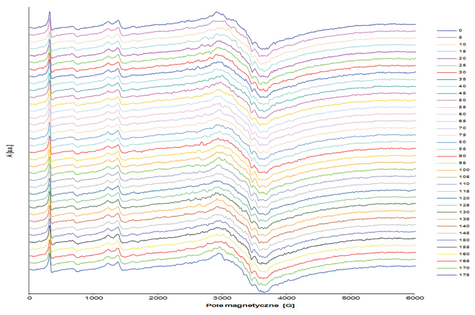
1. Odczyn pH mieszanek wynosi 9,01- 9,81 w temperaturze 21ºC i z zwiększa się w trakcie 4-dniowego cyklu pomiarowego.
2. Gęstość mieszanki o zawartości 6 % mas. PVAL jest stała w okresie pomiarowym, natomiast dla zawartości 10 i 15% mas. PVAL zwiększa się.
3. Zwiększenie zawartości PVAL w mieszance powoduje wzrost ilości masy na płycie w czasie.
4. Ciężar płyty pokrytej masami po 120 s mieszanek jest stabilny – z wyjątkiem 15% mas. udziału PVAL. Największym ciężarem płyty i tym samym najgrubszą warstwę wytworzyła mieszanka z 15% mas. dodatkiem PVAL.
5. Najmniejszą lepkością charakteryzuje się mieszanka zawierająca 6 i 10% mas. PVAL natomiast największa mieszanka zawierająca 15% mas. PVAL (mesh 200: mesh 325=35:65). Masy mają charakter cieczy tiksotropowo-dylatancyjnych z niepełną pętlą histerezy.
6. W odlewaniu precyzyjnym można stosować masy lejne zawierające nie więcej niż 10% mas. spoiwa PVAL 26-88

Conclusions
1. The pH reaction of the mixtures is 9.01 - 9.81 at 21°C and increases during the 4-day measurement cycle.
2. The density of the mixture containing 6 wt.% PVAL is constant over the measurement period, but for the content of 10 and 15 wt.% PVAL it increases.
3. Increasing the content of PVAL in the mixture increases the mixture mass amount in time for the plate test
4. The weight of plate covered with mixture is constant after time of 120 s. The exception is mixture with 15 wt.% PVAL. The largest weight and thus the thickest layer was formed by mixture with 15 wt.% PVAL.
5. Mixture containing 6 and 10 wt.% PVAL is characterized by the lowest viscosity, while the largest value can be noticed for 15 wt.% PVAL mixture (mesh 200: mesh 325 – 35:65). The mixtures are of thixotropic-dilatation kind with incomplete hysteresis loop.
6. In the investment casting, mixtures containing not more than 10 wt.% PVAL 26-88 binder are allowed.

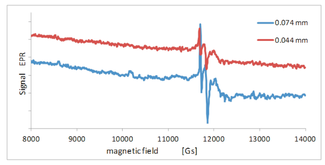
Wyniki badań
Results

Badania rdzeni i proszków ceramicznych

Badania rdzeni ceramicznych (wykonanych metoda wtrysku wysokociśnieniowego) o różnych składach chemicznych oraz Al2O3
i mulitu (o różnych rozmiarach ziarn oraz pochodzące z różnych partii i od różnych dostawców) wykonano metodą EPR w paśmie X oraz Q.



Rys. 7. Zależności kątowe widma EPR dla rdzenia ceramicznego I
Fig. 7. Angular dependence of EPR spectra for the ceramic core I



Rys. 8. Widma EPR proszków Al2O3 w temperaturze pokojowej w paśmie Q
Fig. 8. EPR spectra of the Al2O3 powders at room temperature in Q-band

Wnioski
Conclusions

1. Stwierdzono bardzo dużą zgodność w określaniu zawartości faz i pierwiastków dla różnych proszków na podstawie wyników EPR w pasmach X i Q oraz dyfrakcji rentgenowskiej (XRD).
2. Stwierdzono dużą jednorodność rdzeni ceramicznych (brak anizotropii).
3. W ceramicznych proszkach Al2O3 stwierdzono zmiany wartościowości jonu żelaza z Fe3 + do Fe2+.

Conclusions
1. Very good agreement in determining phase content and chemical composition has been found for different powders based on the EPR results in Q and X bands and based on X-ray diffraction (XDR).
2. High homogeneity (anisotropy) of the ceramic cores has been stated
3. In the Al2O3 ceramic powders, the valence change of iron ions from Fe3+ to Fe2+ has been noticed.

Wyniki badań
Results

Wykonanie kierunkowo krystalizowanych odlewów ze stopu Haynes 282.

Odlewy wykonano w piecu próżniowym ALD metodą krystalizacji kierunkowej.

Rys. 9. Woskowy zestaw modelowy
Fig. 9. Wax model set

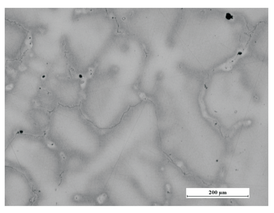
Rys. 10. Forma ceramiczna
Fig. 10. Ceramic mould

Rys. 11. Kierunkowo krystalizowane odlewy ze stopu Haynes 282
Fig. 11. Direcionally solidified Haynes 282 cast

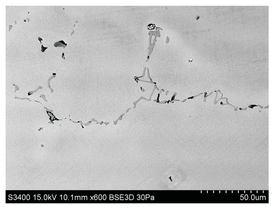
Właściwości mechaniczne i mikrostruktura stopu Haynes 282

Tabela 1. Właściwości mechaniczne odlewów ze stopu Haynes 282 w temperaturze pokojowej i podwyższonej

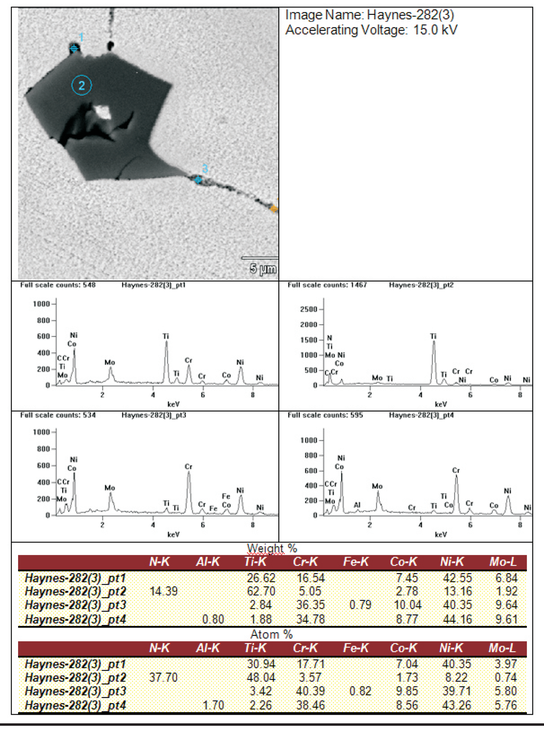
Temperatura Badania ºC	Umowna granica plastyczności Rp0,2, MPa	Wytrzymałość na rozciąganie, Rm, MPa	Wydłużenie A,%	Przewężenie Z, %
760	525	738	41	48
20	547	891	39	36



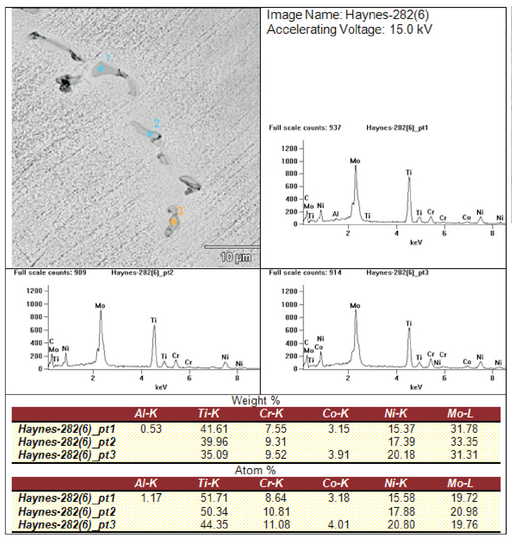
Rys. 12. Mikrostruktura stopu Haynes 282 po rozciąganiu w temperaturze pokojowej
Fig. 12. Haynes 282 alloy microstructure after tensile test at room temperature



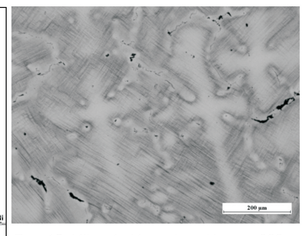
Rys. 13. Mikrostruktura stopu Haynes 282 po rozciąganiu w temperaturze pokojowej
Fig. 13. Haynes 282 alloy microstructure after tensile test at room temperature



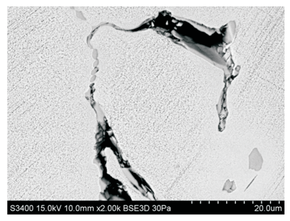
Rys. 14. Wyniki analizy składu chemicznego w mikroobszarach 14 stopu Haynes 282 (po statycznej próbie rozciągania w temperaturze pokojowej). Węgliki tytanu i molibdenu
Fig. 14. Haynes 282 alloy chemical composition analysis results in microareas 14 (after static tensile test at room temperature). Titanium and molybdenum carbides can be observed



Rys. 17. Wyniki analizy składu chemicznego w mikroobszarach 14 (po statycznej próbie rozciągania w temperaturze 780ºC). Węgliki tytanu i molibdenu
Fig. 17. Chemical composition analysis results in microareas 14 (after static tensile test at 780°C). Titanium and molybdenum carbides can be observed



Rys. 15. Mikrostruktura stopu Haynes 282 po rozciąganiu w temperaturze 780ºC
Fig. 15. Haynes 282 alloy microstructure after tensile test at 780°C



Rys. 16. Mikrostruktura stopu Haynes 282 po rozciąganiu w temperaturze 780ºC
Fig. 16. Haynes 282 alloy microstructure after tensile test at 780°C

Wnioski
Conclusions

1. Stop Haynes 282 posiada dobre właściwości mechaniczne w temperaturze pokojowej i podwyższonej,
2. W stopie rozciąganym w temperaturze 780ºC występują nieciągłości na granicach ziarn w postaci pustek charakterystycznych dla działania wysokiej temperatury,
3. Nie stwierdzono zasadniczych różnic w mikrostrukturze stopu odkształcanego w temperaturze pokojowej i 780ºC,
4. Mikrostruktura stopu składa się z roztworu stałego γ, fazy umacniającej γ´, węglików tytanu i molibdenu typu MC i M23C6 oraz eutektyki w przestrzeniach międzydendrytycznych. Faza umacniająca γ´ o kształcie sześciennym posiada zbliżone rozmiary.

Conclusions
1. Haynes 282 alloy presents good mechanical properties at room and elevated temperature.
2. After tensile test in 780°C, discontinuities in the form of voids, characteristic for high temperature influence, can be observed on the grain boundaries.
3. No substantial differences in the microstructure of alloy deformed in room and elevated temperature have been observed.
4. The alloy microstructure consist of solid solution γ phase, precipitation strengthening γ' phase, titanium and molybdenum carbides of MC and M23C6 type and the eutectic in interdendritic areas. Precipitation hardening γ' phase has a cubic shape of similar size.

Wskaźniki realizacji celów projektu
Indicators of the project

Referaty

1. Stefaniuk I., Rogalska I.: ***Characterization of nanomaterials using the EPR method in X-band and Q-band***. E-MRS symposium M, Fall meeting 2013, (16 - 20 September) in Warsaw.
2. Stefaniuk I., Potera P., Rogalska I., Cieniek B.: ***The multifrequency EPR measurements of mullite and Al2O3 powders used in aerospace industry***. International Conference on Innovative Technologies, IN-TECH 2013, Budapest, 10. - 13.09.2013, Proceedings (ISBN 978-953-6326-88-4), p.109-112
3. Rogalska I., Stefaniuk I.,. PoteraP.: ***The multifrequency EPR measurements of mulgrain powders used in aircraft industry***. International Conference on Innovative Technologies, IN-TECH 2013, Budapest, 10. - 13.09.2013, Proceedings (ISBN 978-953-6326-88-4), p.121-124
4. Małek M., Wiśniewski P., Matysiak H., Kurzydłowski K. J.: ***Technological properties of ceramic slurries based on yttrium III oxide for manufacturing prime coat in ceramic shell molds,*** Innovative Manufacturing Technology IMT 2013, Cracow 2013 - poster

Publikacje

1. Stefaniuk, I. Rogalska, P. Potera, D. Wróbel, ***The EPR measurements of the ceramics cores used in aircraft industry***, Nukleonika 58 (2013) 3, 391−395
2. Małek,M., Wiśniewski P., Matysiak H., Nawrocki J., Kurzydłowski K. J.: ***Zastosowanie tlenku itru do budowy warstwy przymodelowej ceramicznych form odlewniczych stosowanych w odlewnictwie precyzyjnym***, Szkło i Ceramika (w recenzji)
3. Budzik G. ***Dokładność geometryczna łopatek turbin silników lotniczych***. Oficyna Wydawnicza PRz. Rzeszów 2013
4. Sieniawski J., Szeliga D., Kubiak K., Onyszko A.: ***The unidirectional crystallization of metals and alloys*** (i. e. turbine blades) – chapter 2a-10. Handbook of Crystal Growth (eds. P. Rudolph), Elsevier (w druku)
5. Szeliga D., Kubiak K., Suchy J. S., Jarczyk G.: ***Rozkład wartości temperatury w monokrystalicznym odlewie z nadstopu niklu CMSX-4 wytwarzanym metodą Bridgmana***. Inżynieria Materiałowa 191 (2013) 1-5
6. Szeliga D., Kubiak K., Jarczyk G.: ***The influence of the radiation baffle on predicted temperature gradient in single crystal CMSX-4 castings***. International Journal of Metalcasting 7 (2013) 3, 17-23
7. Chmiela B., Szeliga D., Sozańska M., Jarczyk G., Cwajna J.: ***Analysis of stray grain formation in single crystal CMSX-4 superalloy***. Practical Metallography 50 (2013) 8, 548-560
8. Pytel M., Nowotnik A., Szeliga D., Sieniawski J.: ***Microstructural investigations of nickel-based superalloys with different structure***. Key Engineering Materials, 592-593 (2014) 557-560
9. Szeliga D., Kubiak K., Burbelko A., Motyka M., Sieniawski J.: ***Modelling of directional solidification of the columnar grains structure in the CMSX-4 nickel base superalloy castings***. Journal of Materials Engineering and Performance (przyjęty do druku)

Prace hab. dr, mgr

Prace magisterskie
Agnieszka Zuba – „***Zastosowanie techniki impulsowej EPR w badaniach nanocząstek***".
Promotor: dr I. Stefaniuk, obroniona -28.06.2013,

Prace inżynierskie
- Justyna Czuba: ***Wpływ prędkości wyciągania odlewów monokrystalicznych z nadstopów niklu na gradient temperatury oraz prędkość krystalizacji i chłodzenia***.
  Promotor: dr hab. inż. K. Kubiak - obrona – styczeń 2014
- Artur Ząbek: ***Wpływ prędkości wyciągania odlewów monokrystalicznych z nadstopu niklu na ich mikrostrukturę komórkowo-dendrytyczną.***
  Promotor: dr hab. inż. K. Kubiak - obrona – styczeń 2014

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym
Collaboration with aviation industry

- współpraca z Wydziałem Odlewni Precyzyjnej W-50 WSK „PZL-Rzeszów" S. A. w zakresie wytwarzania elementów konstrukcyjnych turbin silników lotniczych.
- współpraca z Instytutem Energetyki CEREL –Boguchwała w zakresie wytwarzania rdzeni ceramicznych

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO