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 1

Opracowanie zaawansowanych procesów obróbki HSM trudnoobrabialnych stopów lotniczych
Development of advanced processes of HSM of almost unworkable aeronautical alloys

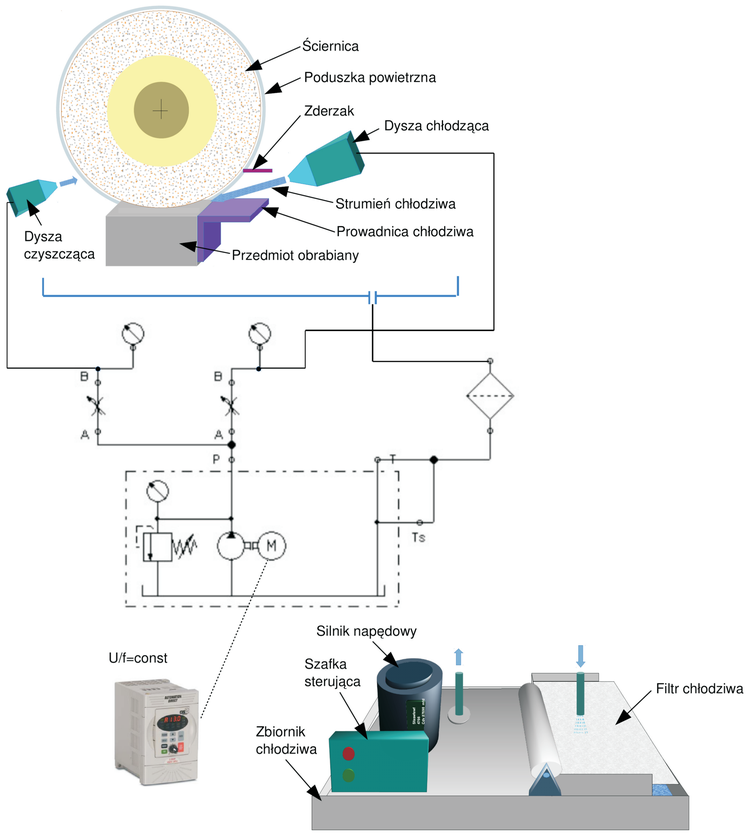
Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Łódzka, Politechnika Warszawska

Wyniki badań
Results

Modernizacja stanowiska badawczego
Modernization of experimental set-up

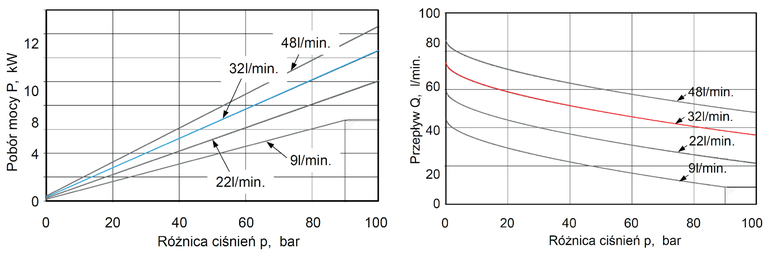
Przeprowadzono modernizację stanowiska badawczego szlifowania CFG zamków łopatek silników lotniczych wykonanych ze stopu Inconel, która polegała:
- zaprojektowaniu układu chłodzenia wysokociśnieniowego (projekt zbiornika, mocowania pompy, układu rozprowadzenia płynu chłodząco-smarującego),
- doborze charakterystyk pompy, czujników i przewodów oraz przeprowadzeniu obliczeń,
- konstrukcji specjalnych dysz wysokociśnieniowych czyszczenia ściernicy oraz chłodzenia strefy szlifowania,
- konstrukcji specjalnych dysz kształtowych do procesu szlifowania zamków łopatek silników lotniczych.

Zaprojektowano układ wysokociśnieniowego chłodzenia strefy szlifowania oraz czyszczenia ściernicy, który przedstawiono na rys. 1.



Rys.1. Projekt układu wysokociśnieniowego chłodzenia procesu szlifowania
Fig.1. Project of high pressure cooling system of grinding process

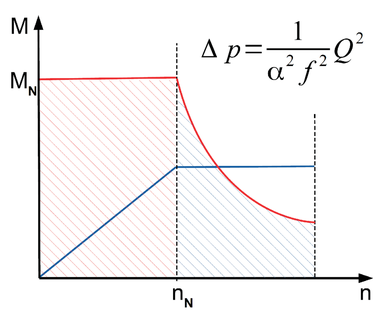
Założenia projektowe:
- rozmiar i geometria układu chłodzącego zostały dopasowane do już istniejącego,
- układ został włączony w miejsce istniejącego układu chłodzenia szlifierki,
- układ chłodzący dostosowany do szlifowania płaskiego i profilowego,
- chłodziwo zapewnia pokrycie całego profilu roboczego ściernicy,
- układ czyszczenia ściernicy zintegrowano z układem chłodzenia,
- układ chłodzenia wyposażony w układy pomiarowe przepływu i ciśnienia,
- zminimalizowana ilość chłodziwa przy odpowiednim chłodzeniu i smarowaniu.



Rys.2. Charakterystyka pompy wysokociśnieniowej
Fig.2. The characteristic of high pressure pump

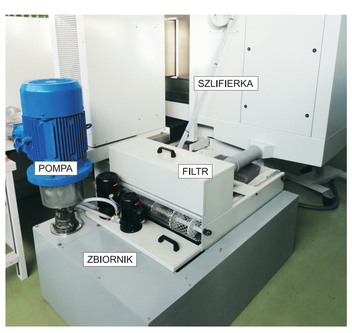
Specyfikacja zaprojektowanego układu chłodzenia wysokociśnieniowego:
1. Pompa wysokociśnieniowa typ EMTEC-A 40R46-A DQ W1100221,
2. Silnik elektryczny 3f 15kW,
3. Falownik LG typ. SV 150iG5A-4,
4. Zawór przelewowy DBD-H-20-K-315,
5. Piezoelektryczne czujniki ciśnienia.

Zastosowanie chłodziwa o wysokim ciśnieniu (do 100 bar) zapewnia znacznie lepsze chłodzenie przedmiotu obrabianego w okolicach strefy szlifowania, a jednocześnie zapewnia:
- kilkukrotne zwiększenie prędkości wypływu chłodziwa (>100 m/s), znacznie powyżej prędkości skrawania (ok 35 m/s) a w związku z tym możliwa jest penetracja chłodziwa do porów ściernicy,
- wydajne płukanie ściernicy i skuteczne zapobieganie zalepianiu ściernicy,
- znaczne obniżenie temperatury skrawania.



$$\Delta p = \frac{1}{\alpha^2 f^2} Q^2$$

Rys.3. Charakterystyka silnika pompy wysokociśnieniowej
Fig.3. The characteristic of high pressure pump motor

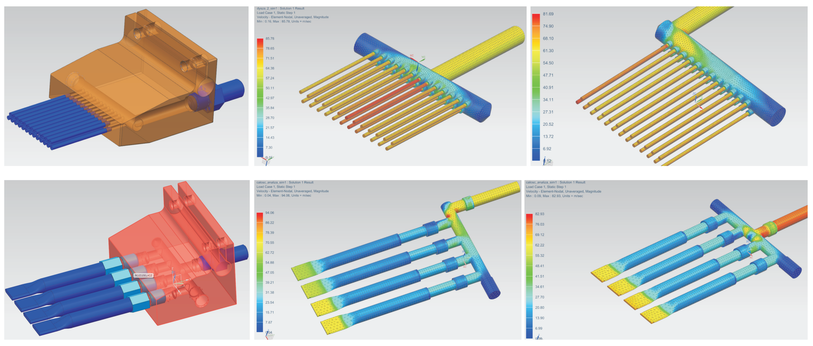


Rys.4. Wykonana modernizacja układu chłodzenia
Fig.4. Performed modernization of the cooling system

Wyniki badań
Results

Projekt dysz wysokociśnieniowych
Project of high pressure nozzles

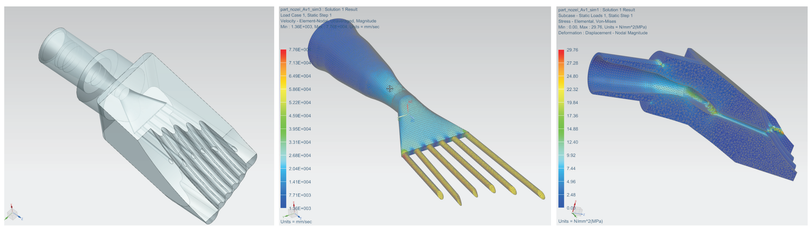
Zaprojektowano dysze wysokociśnieniowe do chłodzenia procesu szlifowania CFG oraz dyszę czyszczącą ściernicę. Następnie przeprowadzono symulację MES przepływu chłodziwa dla ciśnienia 80 bar. Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych zoptymalizowano konstrukcję dysz w celu uzyskania stałej prędkości wypływu cieczy. Na poniższych rysunkach przedstawiono wyniki obliczeń MES i konstrukcje dysz.



Rys.5. Projekt i optymalizacja konstrukcji dysz wysokociśnieniowych
Fig.5. Project and optimization of high pressure nozzles

Projekt dyszy kształtowej
Project of form nozzle

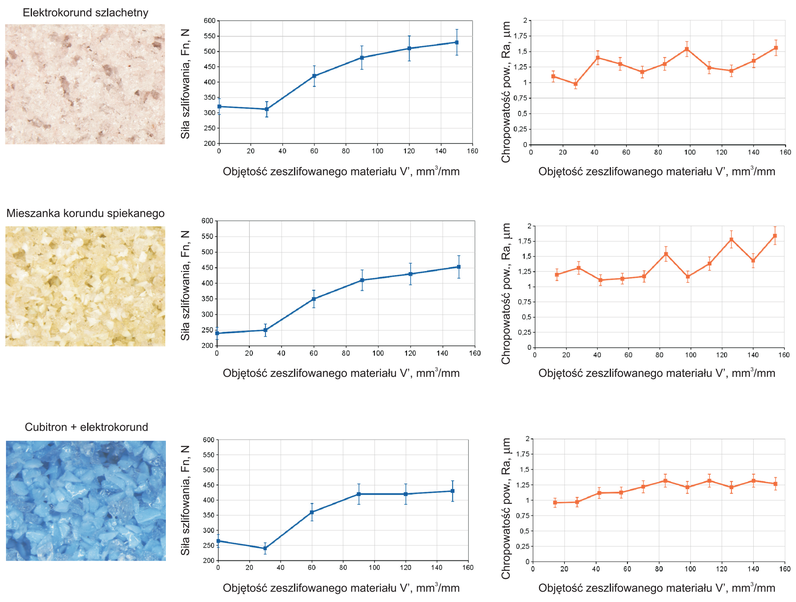
Zaprojektowano dyszę kształtową do chłodzenia procesu szlifowania CFG zamka łopatki silnika lotniczego. Z uwagi za złożony profil zamka zaprojektowano dyszę kształtową. Przewidziano wykonanie dyszy metodą Rapid Technology z kopolimeru ABS. Przeprowadzono symulację MES przepływu chłodziwa dla ciśnienia 40 bar oraz obliczenia wytrzymałościowe konstrukcji dyszy. Na poniższych rysunkach przedstawiono wyniki obliczeń MES i konstrukcję dyszy.



Rys.6. Projekt i optymalizacja konstrukcji dyszy kształtowej
Fig.6. Project and optimization of form nozzle

Badania procesu szlifowania CFG
Experimental tests of CFG process

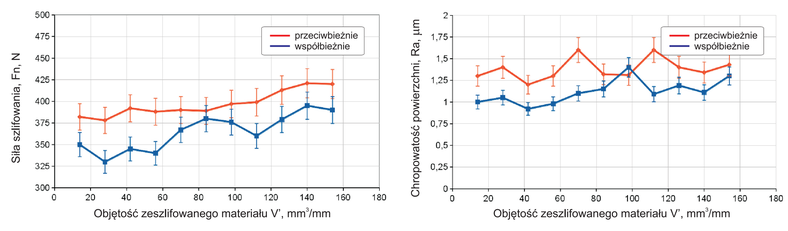
Przeprowadzono badania doświadczalne procesu szlifowania CFG stopu Inconel w kierunku **wółbieżnym**. Dla stałych i ustalonych warunków szlifowania zmieniano ściernice o różnych gatunkach ziarna ściernego. Przebadano wpływ ziarna ściernego elektrokorundu z korundem spiekanym Cubitron. Dla badanych typów ściernic porównano zmiany parametrów chropowatości i siły szlifowania w funkcji objętości zeszlifowanego materiału. Wyniki wskazują kierunek dalszych badań badania ziarna ściernego Cubitron w szlifowaniu CFG.



Rys.7. Zmiany chropowatości i siły szlifowania w okresie trwałości ściernicy
Fig.7. Changes of surface roughness and grinding force in the life-time of grinding wheel

Badania porównawcze szlifowania CFG współbieżnego i przeciwbieżnego
Comparative studies of up and down grinding of CFG process

Przeprowadzono badania porównawcze szlifowania CFG współbieżnego i przeciwbieżnego. Przyjęto stałe wartości parametrów szlifowania oraz obciągania ściernicy a następnie porównano przebiegi składowych siły szlifowania oraz wartości parametrów chropowatości powierzchni. Wyniki przedstawiono na poniższych rysunkach.



Rys.8. Porównanie szlifowania przeciwbieżnego ze współbieżnym
Fig.8. Comparision of down and up grinding

Wnioski
Conclusions

Wnioski z przeprowadzonych badań:

- konstrukcja dysz wysokociśnieniowych powinna być analizowana i optymalizowana pod względem uzyskania jednorodnych warunków (prędkości) wypływu cieczy z dyszy. Istotny wpływ wywiera miejsce doprowadzenia cieczy do dyszy.
- The construction of high pressure nozzles should be analyzed and optimized in terms of obtaining uniform conditions (speed) of liquid outflow from nozzle. Significantly influence has the point of supplying the liquid to the nozzle.

- konstrukcja dysz kształtowych do szlifowania zamków łopatek silników lotniczych powinna być analizowana z uwzględnieniem warunków wypływu cieczy z dyszy jak również pod względem wytrzymałościowym. Z uwagi na bardzo złożony kształt dyszy możliwe jest jej wykonanie metodą Rapid Technology.
- Design of the form nozzles used in grinding process of the aircraft engines blade root should be analyzed with regard to the conditions of liquid outflow from the nozzle as well as in terms of structural strength. Due to the extremely complex shape of the nozzle, it can be made by the Rapid Technology.

- Większość odmian szlifowania realizowana jest jako szlifowanie przeciwbieżne. Z przeprowadzonych badań wynika, że szlifowanie CFG musi być realizowane w kierunku współbieżnym. Skutkuje to większą stabilnością procesu szlifowania, lepszą jakością powierzchni oraz mniejszymi siłami.
- Most varieties of grinding is realized as a up grinding. The study shows that the CFG grinding should be realized as a down grinding. This provides greater stability of the grinding process, better surface quality and smaller forces.

- Porównanie szlifowania CFG współbieżnego z przeciwbieżnym dowodzi, że szlifowanie współbieżne zapewnia większą stabilność szlifowania (brak drgań), mniejsze siły szlifowania oraz uzyskiwanie lepszej jakości powierzchni po szlifowaniu.
- Comparison of CFG up and down grinding shows that down grinding provides greater stability of grinding process (no vibration), lower grinding forces and allows obtaining better surface quality.

- Z badań szlifowania CFG wynika:
  - Ziarno elektrokorundu generuje najwyższe wartości siły szlifowania,
  - Mieszanka korundu spiekanego powoduje obniżenie siły szlifowania, lecz najgorszą chropowatość powierzchni,
  - Ziarna Cubitron generują najniższe siły szlifowania i najlepszą jakość powierzchni.

- Experimental Researches of CFG grinding show:
  - *Corundum grains generate the highest values of grinding force,*
  - *Sintered alumina blend reduces grinding forces but causes the worst surface roughness,*
  - *Cubitron grains generate the lowest values of grinding force and best surface quality.*

Przykłady zastosowania w lotnictwie
Examples of application in aviation

`Planuje się wykorzystanie opracowywanej technologii szlifowania zamków łopatek silników lotniczych wykonanych ze stopu Inconel w praktyce przemysłowej. Przewiduje się ulepszenie dotychczasowej technologii w zakresie:
- doboru charakterystyki ściernic,
- doboru optymalnych parametrów szlifowania
- doboru optymalnych parametrów procesu obciągania rolką kształtową,
- doboru optymalnych warunków doprowadzenia chłodziwa do strefy szlifowania (dobór wartości ciśnienia, prędkości przepływu cieczy oraz konstrukcji odpowiednich dysz).

Korzyści wynikające z wdrożenia przedmiotowej technologii to:
- zwiększenie wydajności obróbki,
- zapewnienie wymaganych parametrów jakościowych szlifowanej powierzchni w okresie trwałości ściernicy,
- zapobieganie termicznym uszkodzeniom warstwy wierzchniej.

Wskaźniki realizacji celów projektu
Indicators of the project

Referaty

1. ŻYŁKA Ł., BABIARZ R., KROK M.: ***CFG grinding of aerospace blade locks made of Inconel 718 alloy.*** Międzynarodowa Konferencja AIRTEC 2013. Frankfurt, 5 - 7 listopad 2013 r.
2. BABIARZ R.: ***Zużycie ściernic w szlifowaniu CFG stopu Inconel 718.*** IV Seminarium zadań badawczych ZB1, ZB2, ZB5 Projektu Kluczowego. Nałęczów, 23 - 25 wrzesień 2013 r.
3. ŻYŁKA Ł.: ***Proces obciągania rolką kształtową w szlifowaniu stopu Inconel 718.*** IV Seminarium zadań badawczych ZB1, ZB2, ZB5 Projektu Kluczowego. Nałęczów, 23 - 25 wrzesień 2013 r.
4. ŻYŁKA Ł., BABIARZ R., OSTROWSKI R.: ***Wpływ parametrów obciągania rolką kształtową na chropowatość szlifowanej powierzchni zamka łopatki silnika lotniczego.*** XXXVI Naukowa Szkoła obróbki Ściernej. Baranów Sandomierski, 18 - 20 wrzesień 2013 r.
5. ŻYŁKA Ł., BABIARZ R., OSTROWSKI R.: ***Metodyka doboru parametrów obciągania rolką kształtową w szlifowaniu stopu inconel 718.*** XXXVI Naukowa Szkoła obróbki Ściernej. Baranów Sandomierski, 18 - 20 wrzesień 2013 r.
6. ŻYŁKA Ł., BABIARZ R., OSTROWSKI R.: ***Wpływ charakterystyk ścierniczych na parametry jakościowe szlifowanej powierzchni zamka łopatki silnika lotniczego.*** XXXVI Naukowa Szkoła obróbki Ściernej. Baranów Sandomierski, 18 - 20 wrzesień 2013 r.

Publikacje

1. ŻYŁKA Ł., BABIARZ R., OSTROWSKI R.: ***Wpływ charakterystyk ścierniczych na parametry jakościowe szlifowanej powierzchni zamka łopatki silnika lotniczego.*** Mechanik nr 8-9/2013, płyta CD - XXXVI Naukowa Szkoła obróbki Ściernej, str. 492 - 499.
2. ŻYŁKA Ł., BABIARZ R., OSTROWSKI R.: ***Metodyka doboru parametrów obciągania rolką kształtową w szlifowaniu stopu inconel 718.*** Mechanik nr 8-9/2013, płyta CD - XXXVI Naukowa Szkoła obróbki Ściernej, str. 486 - 491.
3. ŻYŁKA Ł., BABIARZ R., OSTROWSKI R.: ***Wpływ parametrów obciągania rolką kształtową na chropowatość szlifowanej powierzchni zamka łopatki silnika lotniczego.*** Mechanik nr 8-9/2013, płyta CD - XXXVI Naukowa Szkoła obróbki Ściernej, str. 508 - 515.

Publikacje planowane:

1. ŻYŁKA Ł., BABIARZ R., PŁODZIEŃ M.: ***Kształtowanie chropowatości powierzchni w szlifowaniu stopu Inconel 718 z posuwem pełzającym.*** Planowa publikacja w monografii Międzysekcyjnego Zespołu Inżynierii Powierzchni KBM PAN w Warszawie, grudzień 2013 r.

Prace mgr, dr, hab.

Prace magisterskie obronione:

- Marcin Małek: ***Projekt frezu kształtowego do obróbki gniazda zamocowania łopatki silnika lotniczego*** . Promotor: dr inż. Łukasz Żyłka

Prace magisterskie planowane

- Albert Wołos: ***Analiza porównawcza metod kształtowania CPS za pomocą obciągaczy rolkowych w szlifowaniu stopów lotniczych.*** Promotor: dr inż. Łukasz Żyłka, planowany termin obrony: czerwiec 2014 r.
- Witold Czapkowski: ***Dobór ściernic do szlifowania CFG zamka łopatki silnika lotniczego.*** Promotor: dr inż. Łukasz Żyłka, planowany termin obrony: czerwiec 2014 r.
- Grzegorz Serafin: ***Nadzorowanie procesu obciągania ściernicy z wykorzystaniem sygnału emisji akustycznej***. Promotor: dr inż. Robert Babiarz, planowany termin obrony: czerwiec 2014 r.
- Paweł Sułkowicz: ***Nadzorowanie procesu CFG stopu Inconel 718 z wykorzystaniem sygnału emisji akustycznej***. Promotor: dr inż. Robert Babiarz, planowany termin obrony: czerwiec 2014 r.
- Jarosław Kołdyj: ***Metody termowizyjne pomiaru temperatur w procesach szlifowania stopów lotniczych***. Promotor: dr inż. Robert Babiarz, planowany termin obrony: czerwiec 2014 r.
- Michał Romaszuk: ***Nadzorowanie procesu CFG stopu Inconel 718 z wykorzystaniem sygnału prądu wrzeciona ściernicy.*** Promotor: dr inż. Robert Babiarz, planowany termin obrony: czerwiec 2014 r.
- Dariusz Prokop: ***Wpływ zużycia ściernicy na powstawanie drgań oraz jakość powierzchni stopu Inconel 718 w procesie CFG.*** Promotor: dr inż. Robert Babiarz, planowany termin obrony: czerwiec 2014 r.

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO