

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Opracowanie zaawansowanych procesów obróbki HSM trudnoobrabialnych stopów lotniczych

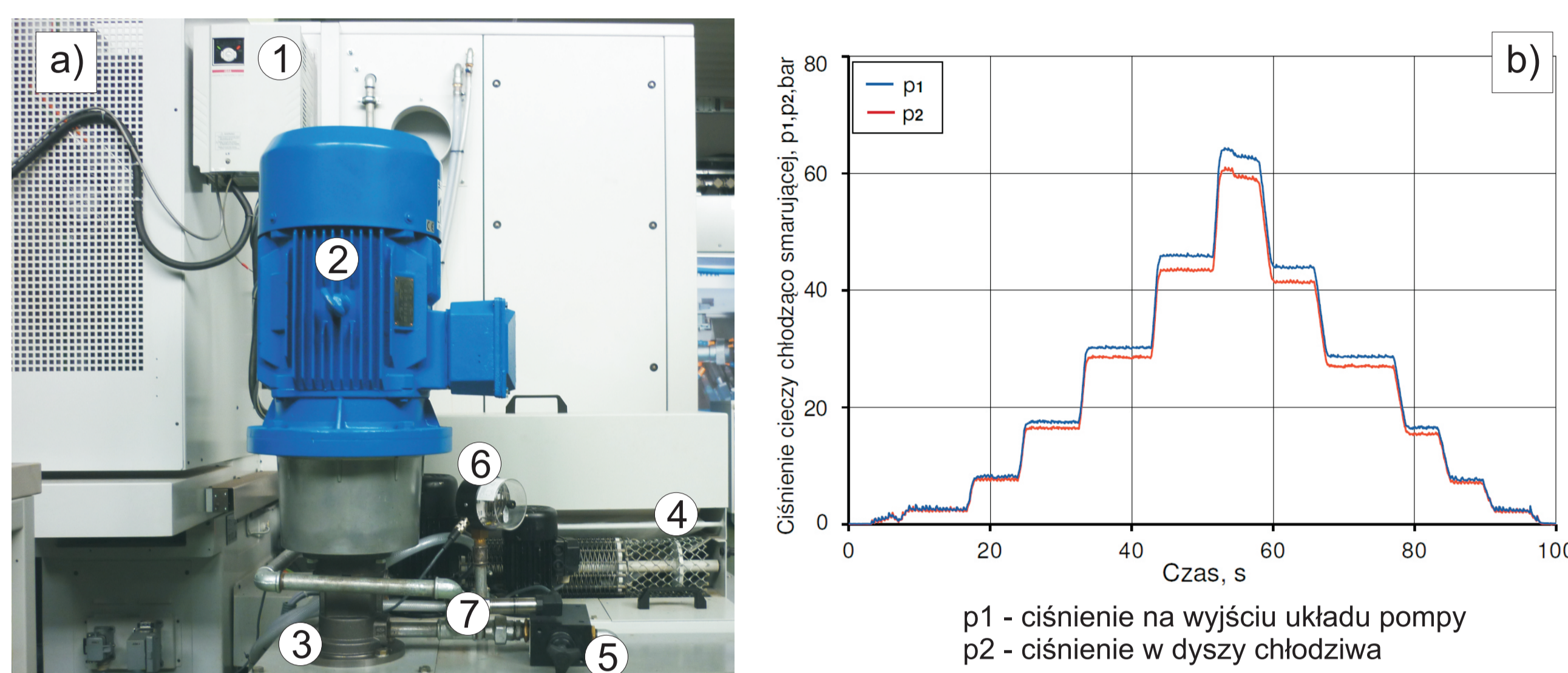
Development of advanced processes of HSM of almost unworkable aeronautical alloys

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Łódzka, Politechnika Warszawska

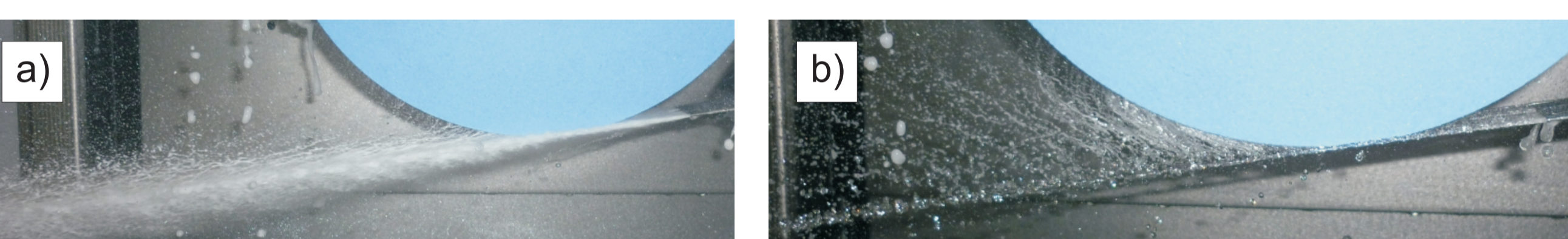
Wyniki badań Results

Badania wysokociśnieniowego chłodzenia procesu szlifowania

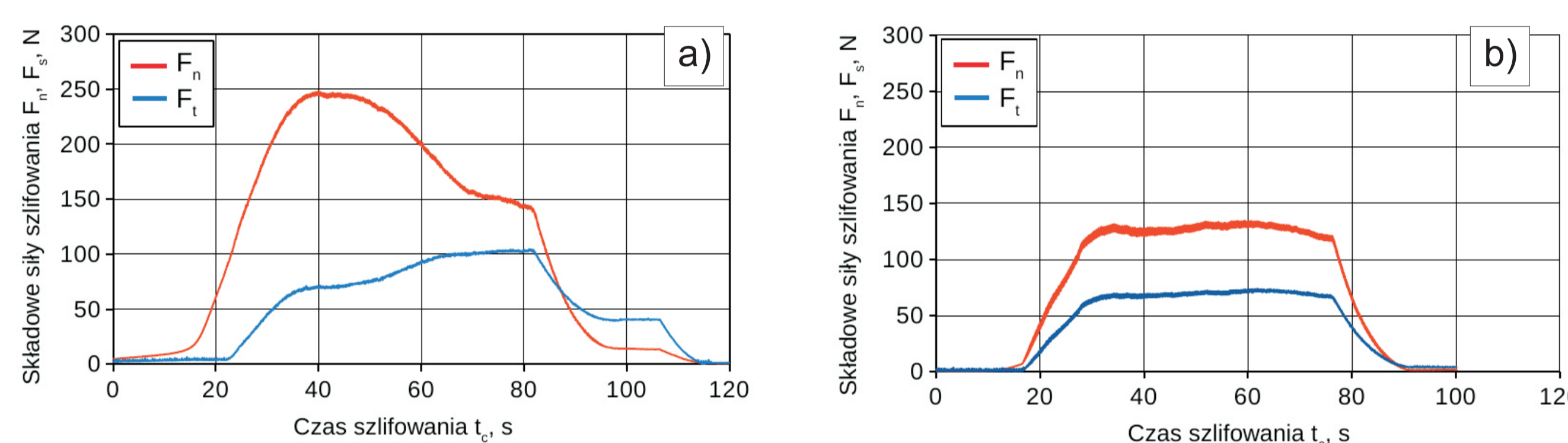
Zmodernizowany układ chłodzenia rys.1a dzięki zastosowaniu układów pomiarowych ciśnienia zapewnia powtarzalność nastaw ciśnienia w dyszy chłodzącej, stabilizując prędkość wypływu chłodziwa rys.1b. Zastosowany w układzie manometr różnicowy (6) zabezpiecza pompę przed uszkodzeniem spowodowanym niedrożnością przewodów hydraulicznych lub filtra chłodziwa.



Rys.1. Widok układu wysokociśnieniowego chłodzenia: a) aparatura: 1 - falownik, 2 - silnik, 3 - pompa, 4 - filtr, 5 - zawór przelewowy, 6 - czujnik podciśnienia, 7 - czujnik ciśnienia, b) porównanie wartości ciśnień



Rys.2. Struga chłodziwa przy ciśnieniu: a) 60 bar, b) 10 bar



Rys.3. Przebieg sił w szlifowaniu z chłodziwem o ciśnieniu: a) 60 bar, b) 10 bar

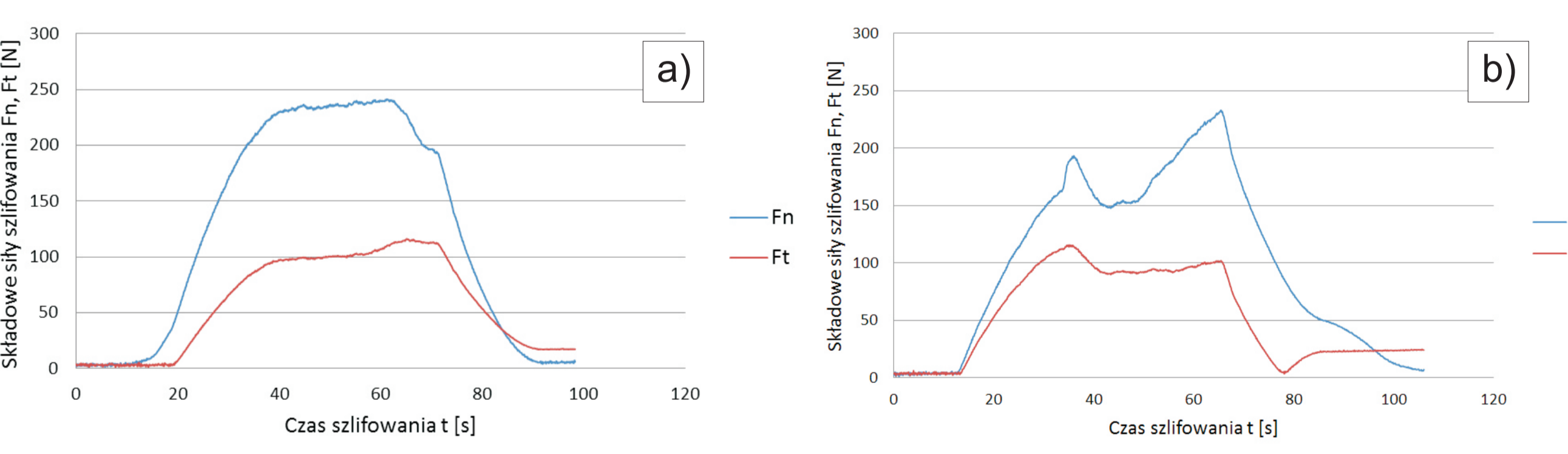
Zwiększone, w stosunku do standardowego układu chłodzenia ciśnienie ułatwia transport cieczy do strefy obróbki (rys.2). Zarejestrowane przebiegi wartości sił szlifowania dla różnych wartości ciśnienia chłodziwa (10 i 60 bar) w dyszy przedstawiono na rys.3. Dla różnych wartości ciśnienia proces szlifowania przebiegał prawidłowo przy czym dla ciśnienia 60 bar zauważalny jest zakłócający wpływ ciśnienia hydrodynamicznego wytworzonego przez strumień chłodziwa uderzający w siłomierz i zamontowaną próbkę.

Porównanie szlifowania CFG współbieżnego z przeciwbieżnym

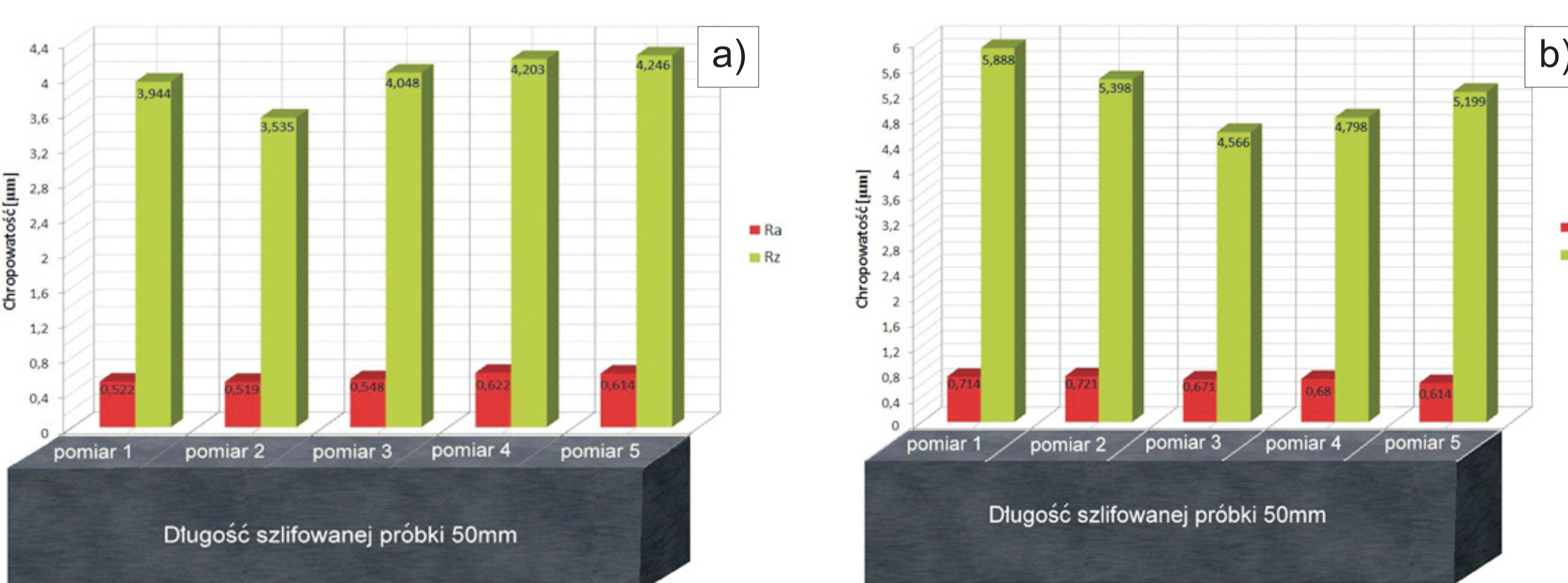
W przypadku szlifowania CFG (Creep-Feed Grinding) obróbka realizowana jest zazwyczaj w jednym przejściu. Może być ono wykonane w kierunku współbieżnym lub przeciwbieżnym. W związku z tym porównano przebieg procesu szlifowania współ- i przeciwbieżnego dla następujących warunków szlifowania:

- dosuw szlifowania a_s 1 mm
- posuw szlifowania v_f 50 mm/min
- długość szlifowania l 50 mm
- ściernica ϕ 99AX80H14VE01N (Andre Abrasive)

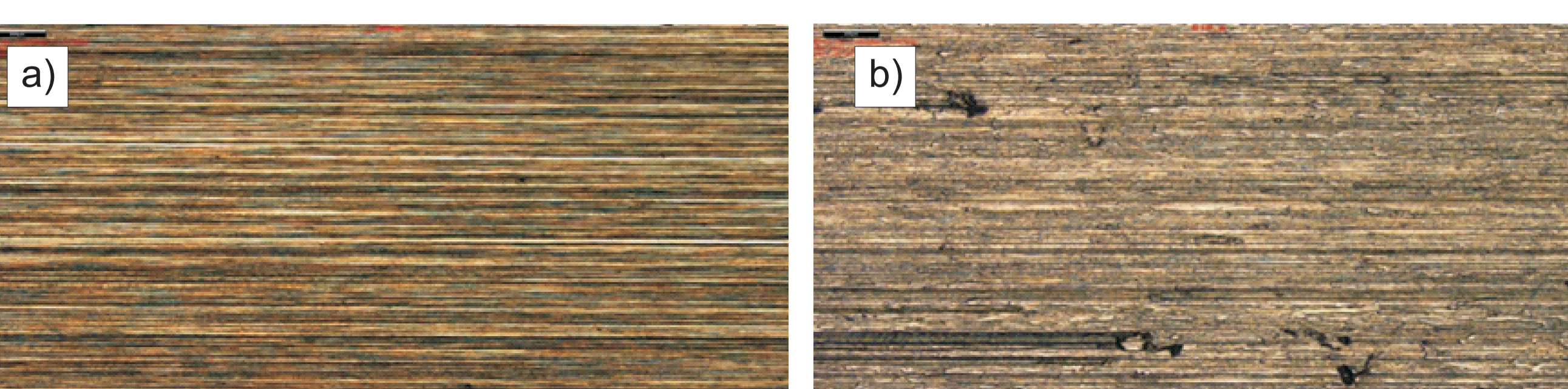
Na rys. 4 przedstawiono przebiegi składowych sił szlifowania, na rys. 5 uzyskane chropowatości powierzchni, a na rys. 6 widoki powierzchni po szlifowaniu.



Rys.4. Przebieg sił w szlifowaniu CFG: a) współbieżnym, b) przeciwbieżnym



Rys.5. Chropowatość powierzchni po szlifowaniu CFG: a) współbieżnym, b) przeciwbieżnym



Rys.6. Widok powierzchni po szlifowaniu CFG: a) współbieżnym, b) przeciwbieżnym

Szlifowanie przeciwbieżne charakteryzuje się niestabilnym przebiegiem o czym świadczy nieregularny przebieg siły. Utrudnione warunki chłodzenia powodują znaczne nagrzewanie materiału co skutkuje powierzchniowym plastycznym płynięciem. Ponadto powierzchnia posiada nieregularnie występujące uszkodzenia. Szlifowanie współbieżne zapewnia wysoką jakość powierzchni oraz stabilny przebieg obróbki.

Wyniki badań Results

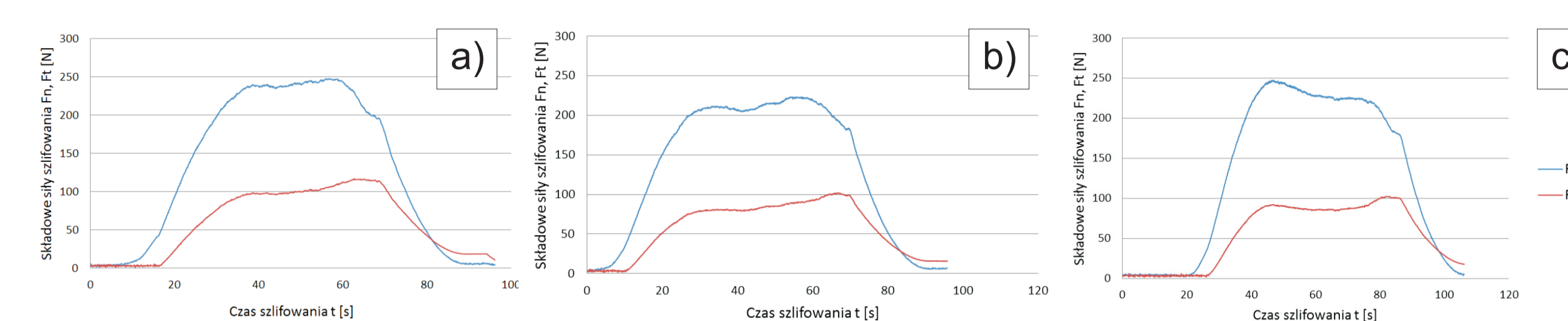
Badania wpływu zawartości ziaren Cubitron w ściernicy na szlifowanie CFG

Dobór ściernicy do szlifowania CFG (Creep-Feed Grinding) ma wpływ na przebieg i wynik procesu szlifowania. Przebadano wpływ zawartości ziaren korundu spiekanego Cubitron w ściernicy na proces CFG. Przebadano ściernice:

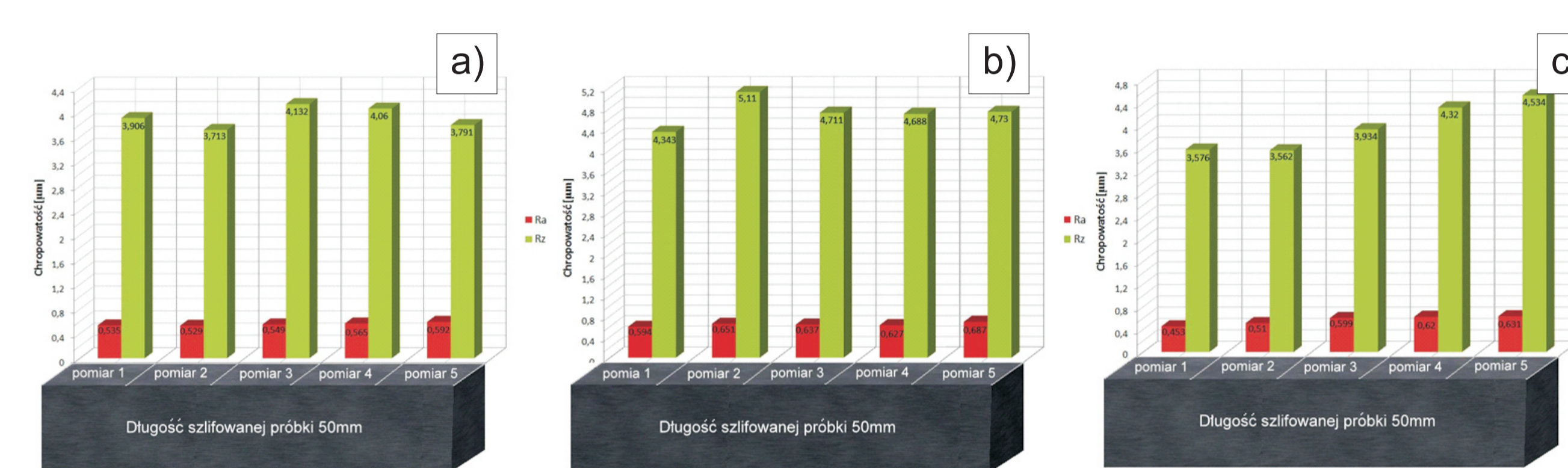
- ściernica 1 ϕ grinding wheel 1 100% Al_2O_3
- ściernica 2 ϕ grinding wheel 2 50% Al_2O_3 + 50% Cubitron
- ściernica 3 ϕ grinding wheel 3 100% Cubitron

- Warunki szlifowania:
- dosuw szlifowania a_s 1 mm
- posuw szlifowania v_f 50 mm/min
- długość szlifowania l 50 mm

Na rys. 7 przedstawiono przebiegi składowych sił szlifowania, na rys. 8 uzyskane chropowatości powierzchni, a na rys. 9 widoki powierzchni po szlifowaniu.



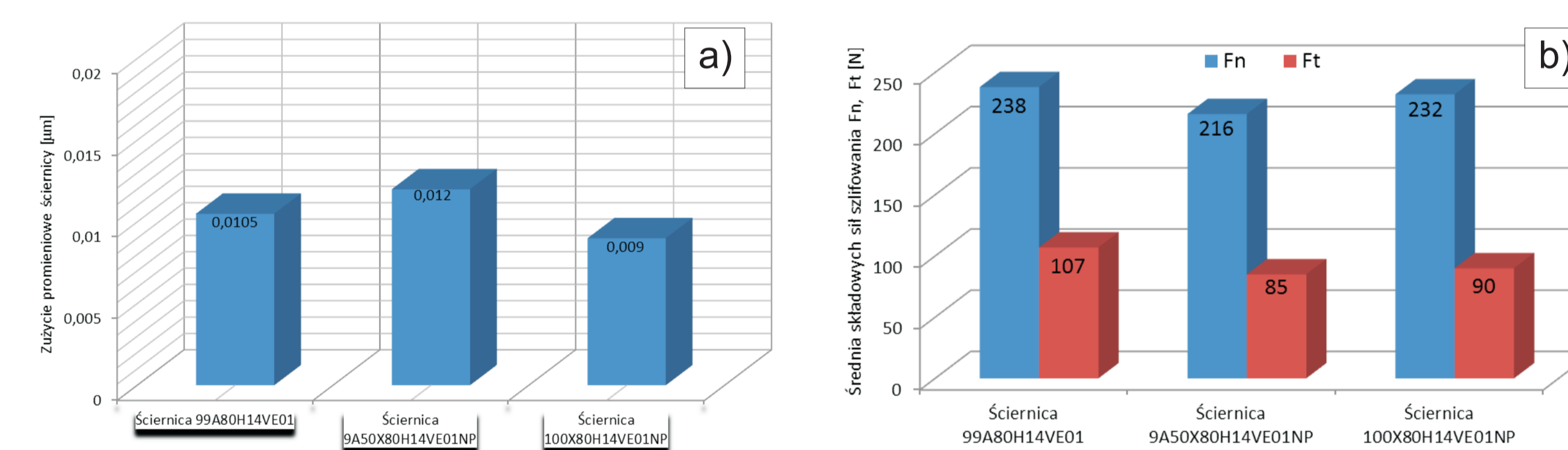
Rys.7. Przebieg sił w szlifowaniu CFG z użyciem ściernic: a) 1, b) 2, c) 3



Rys.8. Chropowatość powierzchni po szlifowaniu CFG z użyciem ściernic: a) 1, b) 2, c) 3



Rys.9. Widok powierzchni po szlifowaniu CFG z użyciem ściernic: a) 1, b) 2, c) 3



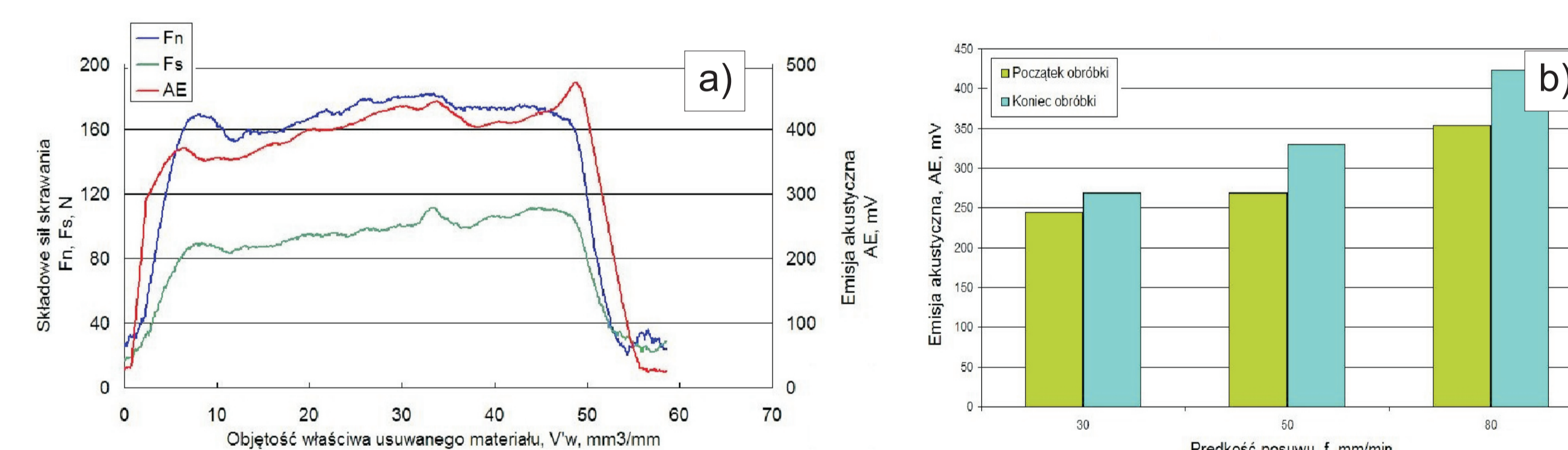
Rys.10. Wykresy porównawcze: a) zużycia promieniowego ściernicy, b) średnich wartości sił szlifowania

Najkorzystniejszy przebieg procesu szlifowania uzyskano w szlifowaniu ściernicą 2 (50% Al_2O_3 + 50% Cubitron). W szlifowaniu pozostałymi dwoma ściernicami zarejestrowano wyższe siły lecz lepszą jakość powierzchni. Mniejsze siły w szlifowaniu „ściernicą 2” wiązały się z większym zużyciem promieniowym wynoszącym 0,012 mm.

Nadzorowanie procesu CFG sygnałem emisji akustycznej

Obliczono współczynniki korelacji sił skrawania oraz emisji akustycznej. Dla przyjętych warunków badań (dosuw szlifowania 0,5 mm, posuw szlifowania 80 mm/min) współczynniki te wyniosły:

- współczynnik korelacji składowej normalnej siły skrawania i emisji akustycznej 0,93,
- współczynnik korelacji składowej stycznej siły skrawania i emisji akustycznej 0,94.



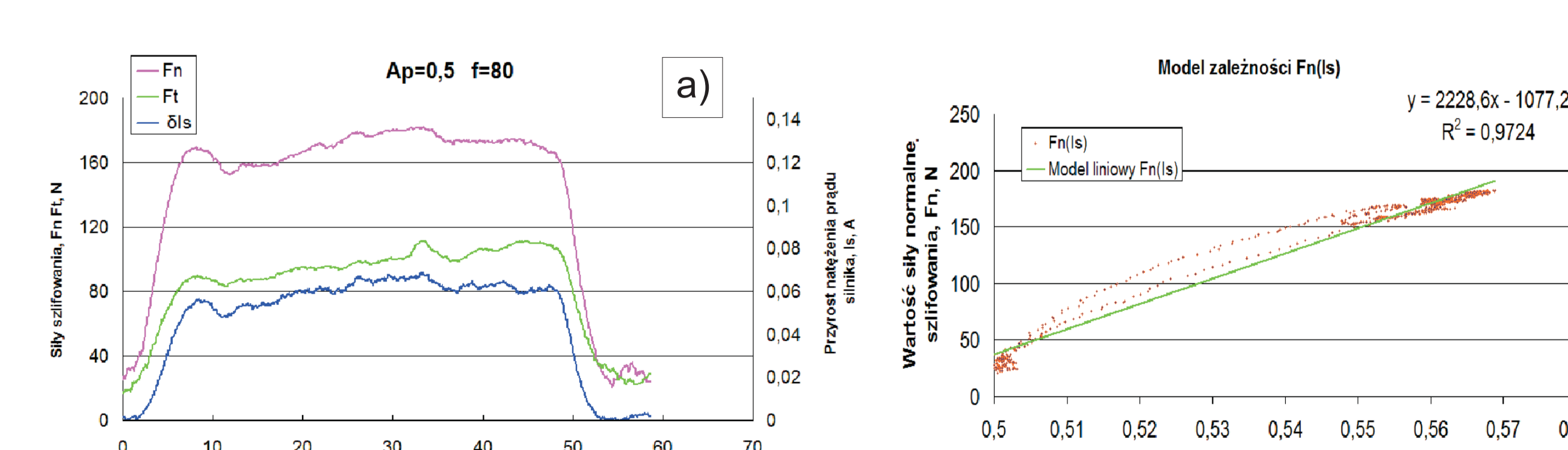
Rys.11. Zmiana wartości składowych sił szlifowania i emisji akustycznej: a) w czasie, b) w funkcji posuwu

Nadzorowanie procesu CFG sygnałem prądu silnika wrzeczona ściernicy

Widoczny na wykresie przebieg sił F_n , F_t oraz zmiany natężenia prądu silnika wrzeczona są do siebie bardzo zbliżone. Można stwierdzić, że przebieg siły normalnej jest dobrze odwzorowywany za pomocą sygnału prądu silnika. Przebieg siły F_t natomiast jest zbliżony do zmiany natężenia prądu tylko w pierwszej połowie badanego procesu. Z uzyskanych danych obliczono współczynnik korelacji pomiędzy siłami a prądem:

- korelacja przebiegów F_n i I_{sil} wynosi: 0,973
- korelacja przebiegów F_t i I_{sil} wynosi: 0,985

Zbadane zależności oraz wykonane modele pozwalają stwierdzić, że nadzorowanie procesu CFG za pomocą sygnału prądu wrzeczona ściernicy jest możliwe. Kontrola procesu za pomocą wartości przyrostu prądu jest stosunkowo dokładna oraz łatwiejsza do zastosowania od standardowych technik pomiaru czujnikami piezoelektrycznymi sił szlifowania.

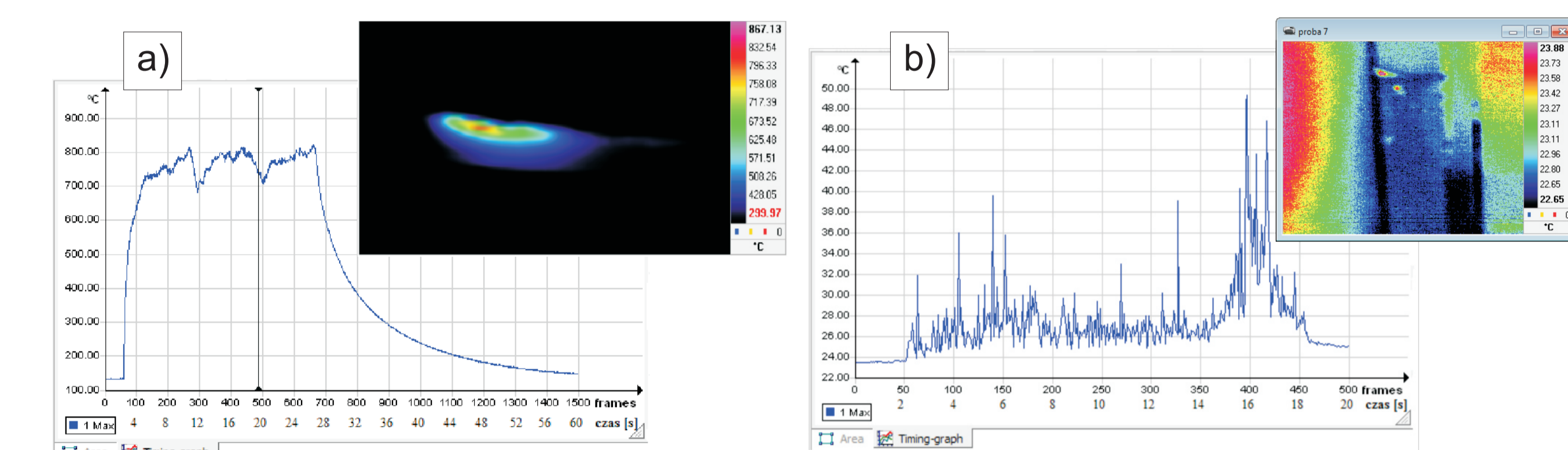


Rys.12. Zmiana wartości składowych sił szlifowania i prądu: a) przebieg sygnałów w czasie, b) siła normalna w funkcji prądu

Wyniki badań Results

Metody termowizyjne pomiaru temperatury w procesie CFG

Pomiar temperatury procesu szlifowania CFG z udziałem chłodziwa jest niemożliwy. Płyn chłodzący zakłóca wynik pomiaru, skutecznie przesłaniając strefę obróbki. Kształt źródła ciepła widoczny jest jedynie w trakcie szlifowania bez użycia chłodziwa. Jednak otrzymane wyniki pozwalają dodatkowo na określenie szybkości zachodzących zmian oraz przedstawienie kształtu pola temperatur stanowiącym tym samym doskonałe narzędzie do wizualizacji i walidacji opracowywanych modeli matematycznych procesu CFG.



Rys.13. Zmiana temperatury w procesie CFG: a) bez chłodziwa, b) z chłodziwem

Wnioski Conclusions

Zwiększenie ciśnienia chłodziwa pozwala na zwiększenie wartości dosuwu szlifowania. Dodatkowo ciśnienie hydrodynamiczne zakłóca pracę czujników siły. Increase of coolant pressure can increase the value of the grinding infeed. In addition, hydrodynamic pressure distorts signal of force sensors.

Szlifowanie współbieżne CFG charakteryzuje się stabilnym przebiegiem procesu oraz znacznie korzystniejszą jakością szlifowanych powierzchni. CFG down-grind process is stable and provide a significantly better quality of grinded surface.

Najkorzystniejszy przebieg procesu szlifowania CFG zapewnia ściernica z mieszaniną ziaren Al_2O_3 i Cubitron w stosunku 50/50. The most preferred CFG grinding process is process by using the grinding made of a mixture of grains Al_2O_3 and Cubitron in a proportion of 50/50.

Emisja akustyczna wykazuje bardzo dobrą korelację z siłami szlifowania, jednak jest silnie zależna od zużycia ściernicy oraz wrażliwa na zmiany strumienia chłodziwa. Acoustic emission has a very good correlation with grinding forces, however, is strongly dependent on the grinding wheel wear and sensitive to changes of the coolant stream.

Ze względu na dobrą korelację sygnału prądu wrzeczona z składowymi siłami szlifowania, sygnał ten może zostać wykorzystany do nadzorowania procesu szlifowania. Due to the good correlation between the current of the spindle and components of the grinding force, this signal can be used to monitoring of the grinding process.

Pomiary termowizyjne procesu szlifowania CFG mogą stanowić doskonałe narzędzie do wizualizacji i walidacji modeli matematycznych. Ich zastosowanie znacząco utrudnia obecność chłodziwa. Thermal imaging measurements of CFG grinding process may be an excellent tool for visualization and validation of mathematical models. Their practical using is significantly impeded by the coolant.

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

- Przygotowanie do wdrożenia wysokociśnieniowego układu chłodzenia procesu szlifowania CFG w firmie ULTRATECH Sp. z o.o.
- Przygotowanie do optymalizacji konstrukcji dysz wysokociśnieniowych chłodziwa w firmie MTU Aero Engines Polska Sp. z o.o.

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referaty

1. Babiarz R., Żyłka Ł.: **Diagnostyka procesu szlifowania zamka łopatk silnika lotniczego**. III Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Zarządzanie Technologią - ZT14”, Poznań, 14-15 marzec 2014
2. Żyłka Ł., Babiarz R., Płodzień M., Krok M.: **Wysokociśnieniowe chłodzenie procesu szlifowania stopu Inconel 718**. III Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Zarządzanie Technologią - ZT14”, Poznań, 14-15 marzec 2014

Publikacje

1. Żyłka Ł., Babiarz R., Płodzień M.: **Kształtowanie chropowatości powierzchni w szlifowaniu stopu Inconel z posuwem pełzającym**. Monografia: Modelowanie warstwy powierzchni, red. Zaborowski T., IBEN, Gorzów Wlkp. - Poznań, 2014, s. 105 - 116

Referaty i publikacje planowane

1. Płodzień M.: **Konstrukcja i obliczenia dysz wysokociśnieniowych stosowanych w procesie szlifowania CFG (Creep-Feed Grinding) stopów lotniczych**. XXXVII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKII ŚCIERNIEJ Kolobrzeg, 23-25 września 2014 r.
2. Żyłka Ł.: **Porównanie przeciwbieżnego i współbieżnego szlifowania CFG (Creep-Feed Grinding) stopu Inconel**. XXXVII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKII ŚCIERNIEJ Kolobrzeg, 23-25 września 2014 r.
3. Żyłka Ł.: **Wpływ procentowej zawartości ziaren Cubitron w ściernicach z ziarnami z elektrokorundu na przebieg i wynik procesu szlifowania CFG (Creep-Feed Grinding) stopu Inconel**. XXXVII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKII ŚCIERNIEJ Kolobrzeg, 23-25 września 2014 r.
4. Babiarz R.: **Koncepcja budowy układu wysokociśnieniowego chłodzenia procesu szlifowania stopów lotniczych**. XXXVII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKII ŚCIERNIEJ Kolobrzeg, 23-25 września 2014 r.
5. Babiarz R.: **Badania wpływu parametrów doprowadzenia chłodziwa na proces szlifowania CFG stopu Inconel**. XXXVII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKII ŚCIERNIEJ Kolobrzeg, 23-25 września 2014 r.

Prace mgr, dr, hab.

Prace magisterskie w realizacji

- Wołos Albert: **Analiza porównawcza metod kształtowania CPS za pomocą obciążaczy rolkowych w szlifowaniu stopów lotniczych**. Promotor: dr inż. Łukasz Żyłka, planowany termin obrony: 26.06.2014
- Czapkowski Witold: **Dobór ściernicy do szlifowania CFG stopu Inconel 718**. Promotor: dr inż. Łukasz Żyłka, planowany termin obrony: 26.06.2014
- Prokop Dariusz: **Wpływ zużycia ściernicy na powstawanie drgań i pogorszenie jakości powierzchni w procesie szlifowania z posuwem pełzającym stopu Inconel 718**. Promotor: dr inż. Robert Babiarz, planowany termin obrony: 26.06.2014
- Sulikowicz Paweł: **Nadzorowanie procesu CFG stopu Inconel 718 z wykorzystaniem sygnału emisji akustycznej**. Promotor: dr inż. Robert Babiarz, planowany termin obrony: 26.06.2014
- Romaszuk Michał: **Nadzorowanie procesu CFG stopu Inconel 718 z wykorzystaniem sygnału prądu wrzeczona ściernicy**. Promotor: dr inż. Robert Babiarz, planowany termin obrony: 26.06.2014
- Koldyj Jarosław: **Metody termowizyjne pomiaru temperatur w procesach szlifowania stopów lotniczych**. Promotor: dr inż. Robert Babiarz, planowany termin obrony: 26.06.2014
- Serafin Grzegorz: **Nadzorowanie procesu obciążania ściernicy z wykorzystaniem sygnału emisji akustycznej**. Promotor: dr inż. Robert Babiarz, planowany termin obrony: 26.06.2014