

# 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

##### Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze procesu szlifowania CFG zamków łopatek silników lotniczych wykonanych ze stopu Inconel 718 zostało opracowane w oparciu o szlifierkę CNC do płaszczyzn i profili Geibel&Hotz typ FS 640Z (rys. 1). Szlifierka została wyposażona w układy pomiaru drgań i składowych siły szlifowania, kształtowaną rolką diamentową do obciążenia ściernicy oraz specjalny uchwyt do montażu próbek. W celu zapewnienia stałych warunków chłodzenia na całej długości szlifowania obok szlifowanej próbki zamontowano "przewodnicę" kierującą strumień chłodziwa do strefy szlifowania.



Rys. 1. Widok stanowiska badawczego: 1) rolka obciążająca, 2) ściernica, 3) siłomierz, 4) uchwyt, 5) przedmiot obrabiany, 6) przewodnica chłodziwa.  
Fig. 1. Set-up view: 1) profile dresser, 2) grinding wheel, 3) dynamometer, 4) workpiece chuck, 5) workpiece, 6) coolant guide

##### Badania procesu obciążania rolką kształtową

Przeprowadzono badania wpływu parametrów obciążania na chropowatość szlifowanej powierzchni, błędy wymiarowo-kształtowe oraz składowe siły szlifowania  $F_x$  i  $F_y$ . Na podstawie analizy literatury z zakresu szlifowania CFG (Creep Feed Grinding) stopów typu Inconel przyjęto plan badań przedstawiony poniżej. There were performed tests of the influence of dressing parameters on surface roughness, shape and dimensional errors and components of grinding force  $F_x$  and  $F_y$ . Based on the analysis of literature in the field of CFG (Creep Feed Grinding) Inconel alloys established the study plan below.

Stale parametry szlifowania i obciążania (constant grinding and dressing parameters):

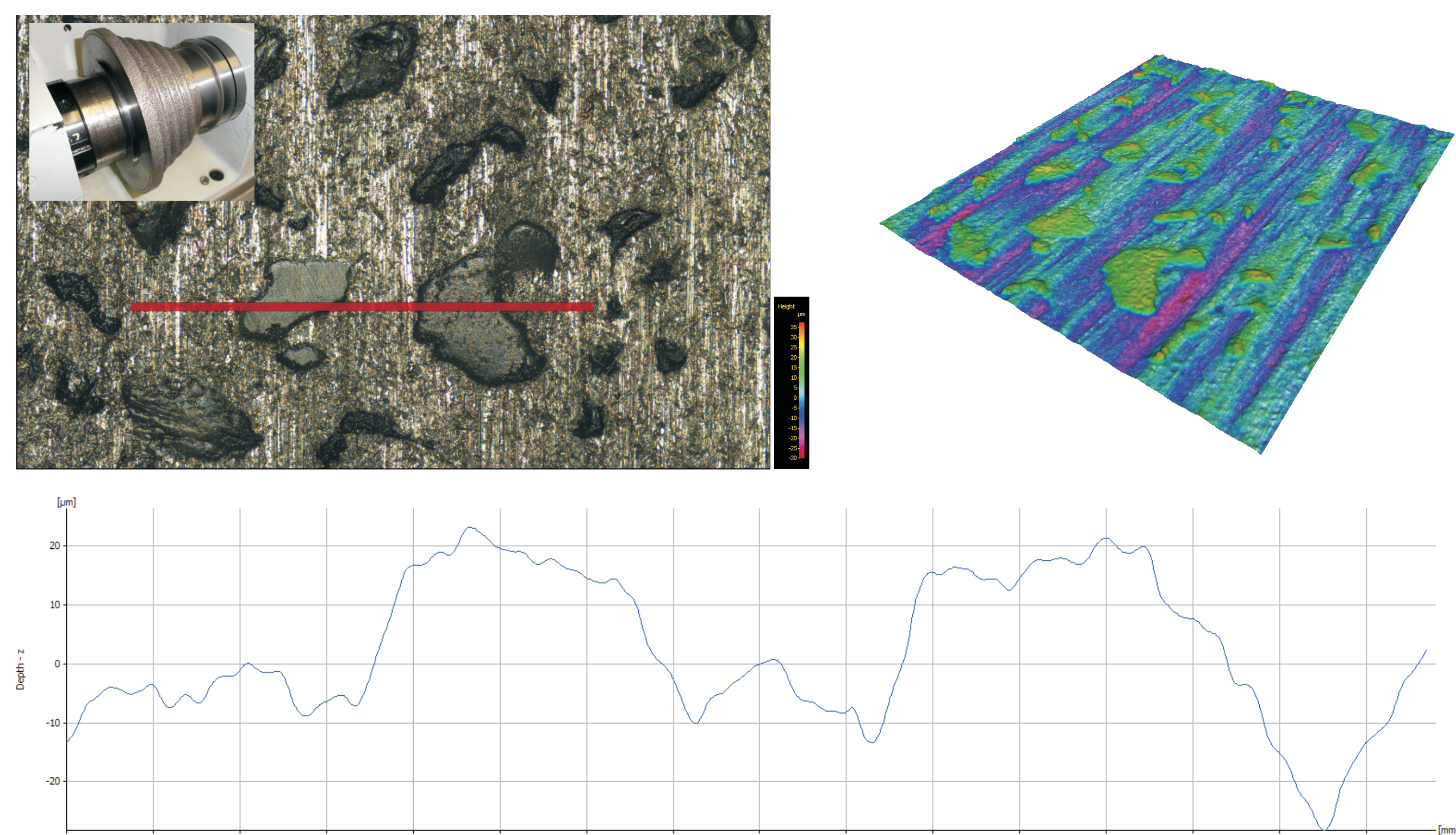
- prędkość skrawania  $v_s = 20$  m/s;
- dosuw obciążania  $a_d = 0,02$  mm (obciążanie w 10 przejściach);
- długość szlifowania  $l_b = 60$  mm;
- dosuw szlifowania  $a_s = 0,3$  mm;
- prędkość posuwu  $v_p = 30$  mm/min;

Zmienne parametry obciążania (variable dressing parameters):

- posuw obciążania  $f_d = 50; 100; 150; 200; 250; 300$  mm/min;
- stosunek prędkości  $q_d = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8$ .

##### Dosuw obciążania $a_d$

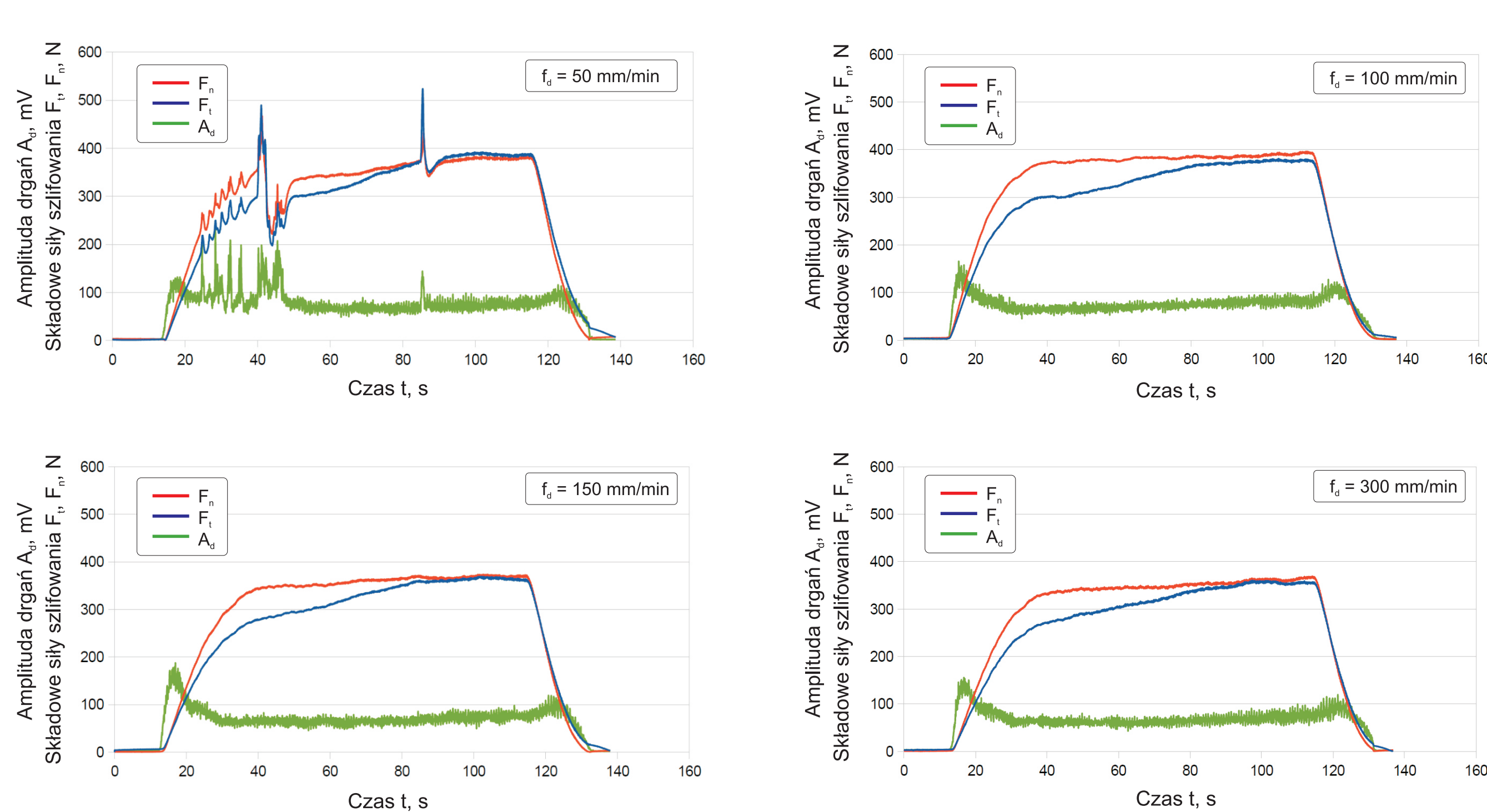
Wartość dosuwu obciążania była stała i wynikała z wysokości diamentów osadzonych na profilu rolki. Wymiar ten wyniósł ok. 0,02 mm (rys. 2).



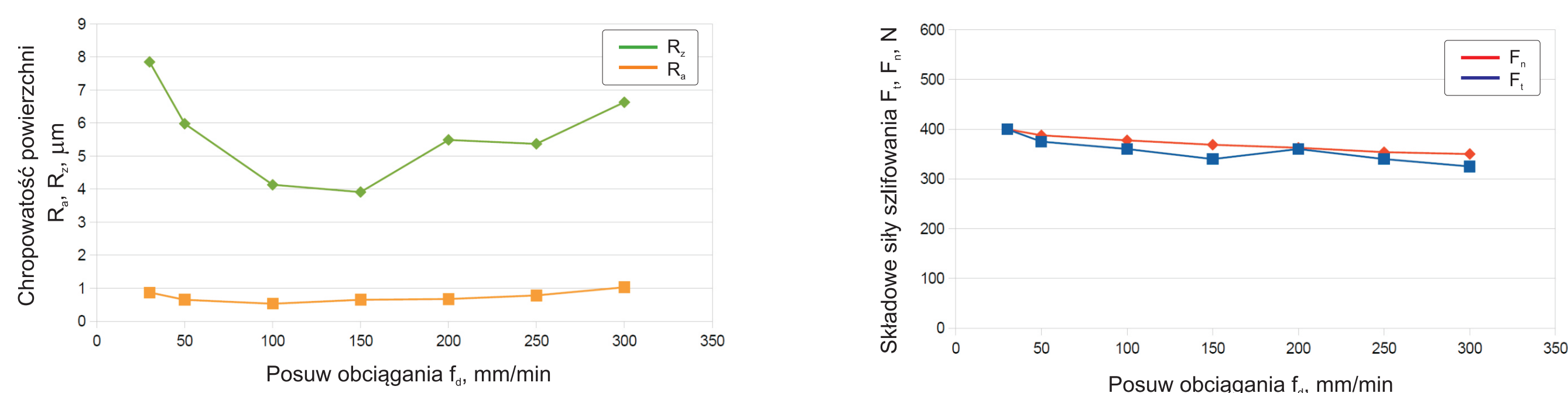
Rys. 2. Pomiar wysokości ziarna diamentowego na powierzchni rolki kształtującej.  
Fig. 2. Measurement of diamond grain height on the profile roller surface.

##### Posuw obciążania $f_d$

Wartość posuwu obciążania była zmieniana w zakresie 50 - 300 mm/min. Na rys. 3 i 4 przedstawiono zmiany składowych siły szlifowania i chropowatości powierzchni w funkcji  $f_d$ .



Rys. 3. Przebieg składowych siły szlifowania i drgań podczas szlifowania dla różnych posuwów obciążania.  
Fig. 3. Components of grinding force and vibration during grinding with different dressing feed.

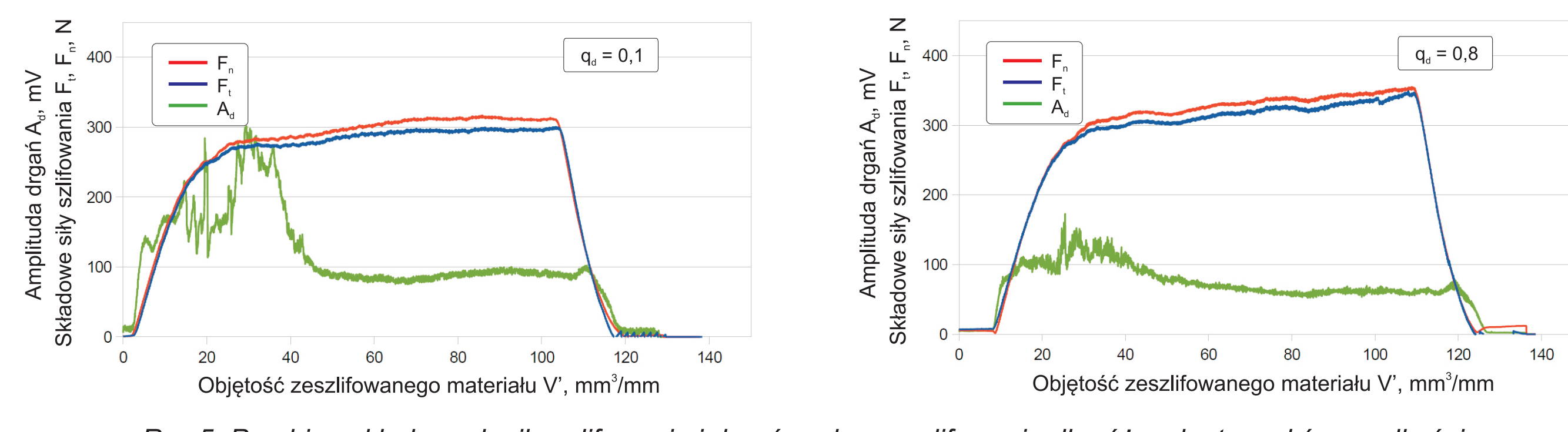


Rys. 4. Wpływ posuwu obciążania na składowe siły szlifowania i chropowatość powierzchni.  
Fig. 4. Influence of dressing feed on grinding force components and surface roughness.

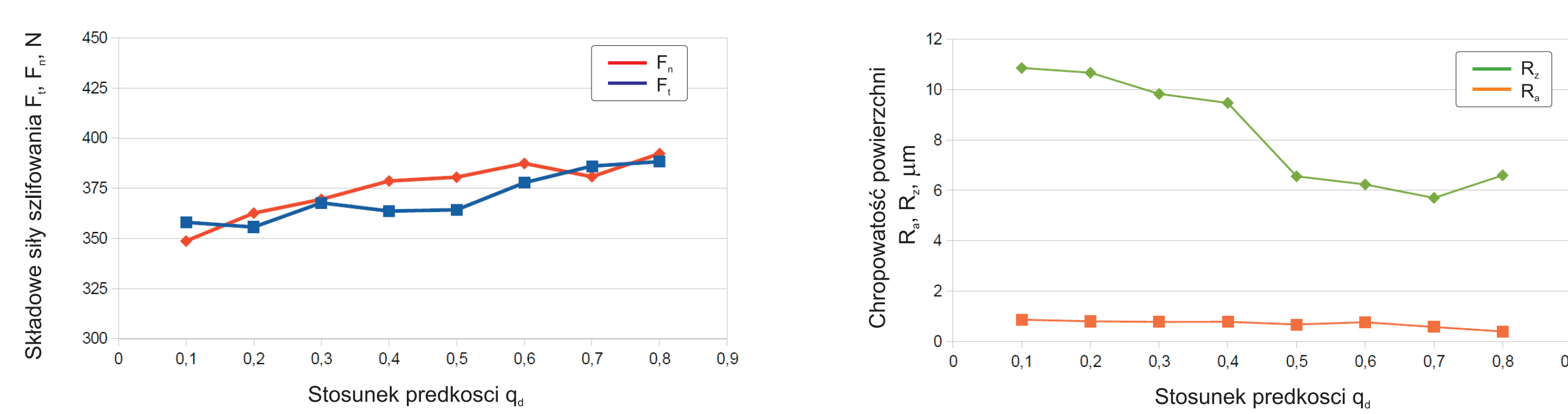
#### Wyniki badań Results

##### Stosunek prędkości $q_d$

Wartość stosunku prędkości rolki i ściernicy  $q_d$  była zmieniana w zakresie 0,1 - 0,8. Kierunek obrotów obciążacza rolkowego był przeciwny do kierunku obrotów ściernicy. W celu uzyskania odpowiedniego stosunku prędkości obwodowych zmieniano prędkość obrotową rolki. Na rys. 5 przedstawiono zmiany składowych siły szlifowania dla dwóch skrajnych wartości parametru  $q_d$ . Rys. 6 obrazuje wpływ parametru  $q_d$  na składowe siły szlifowania oraz chropowatość szlifowanej powierzchni.



Rys. 5. Przebieg składowych siły szlifowania i drgań podczas szlifowania dla różnych stosunków prędkości.  
Fig. 5. Components of grinding force and vibration during grinding with different speed ratio.



Rys. 6. Wpływ stosunku prędkości na składowe siły szlifowania i chropowatość powierzchni.  
Fig. 6. Influence of dressing speed ratio on grinding force components and surface roughness.

##### Badania procesu szlifowania CFG

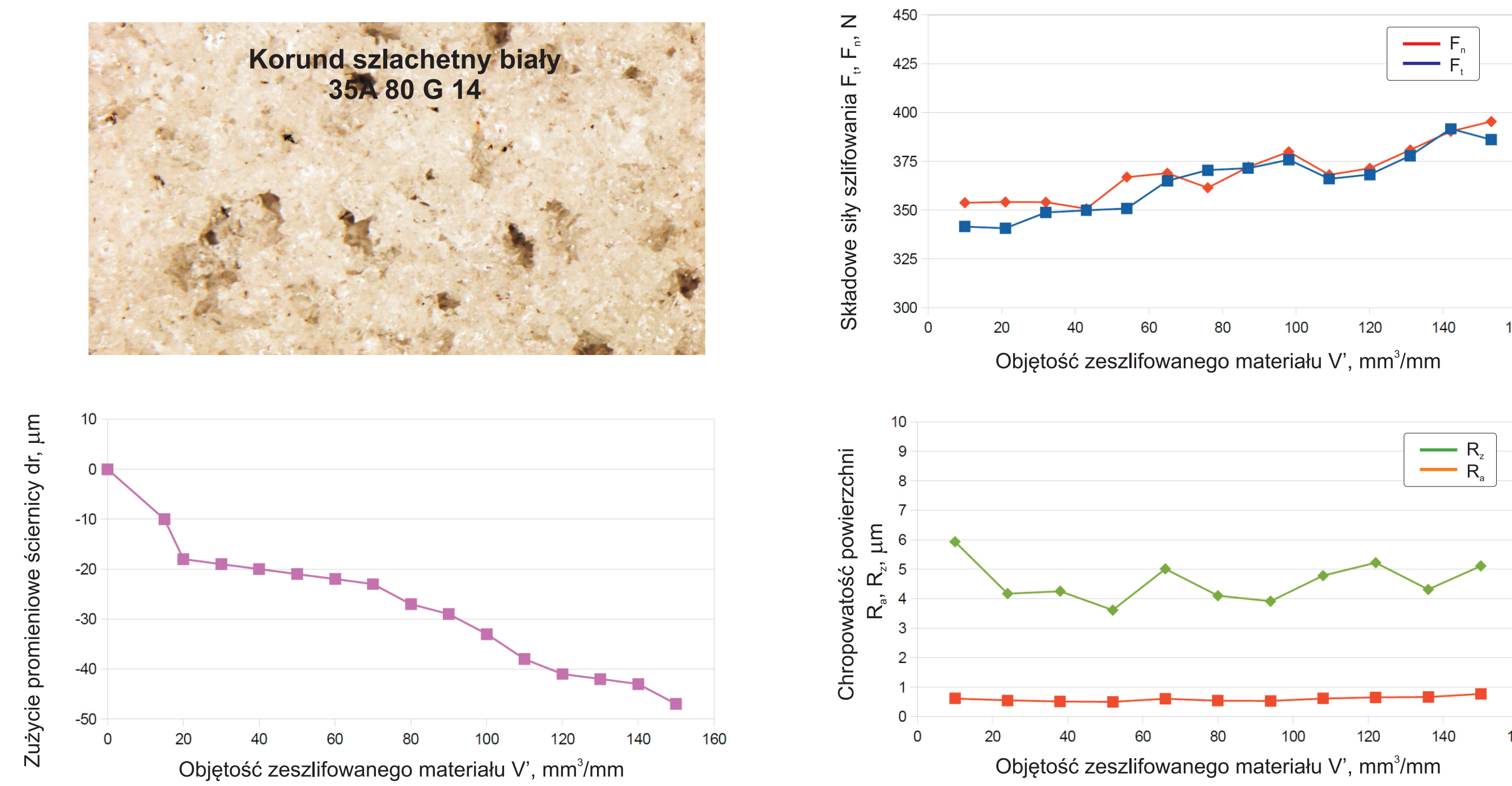
Przeprowadzono badania wpływu charakterystyki ściernicy na chropowatość szlifowanej powierzchni, błędy wymiarowo-kształtowe oraz składowe siły szlifowania  $F_x$  i  $F_y$ . Warunki badań przyjęto takie same jak dla badania procesu obciążania.

There were performed tests of the influence of grinding wheel characteristic on surface roughness, shape and dimensional errors and components of grinding force  $F_x$  and  $F_y$ . Experimental conditions were the same as in the dressing process tests.

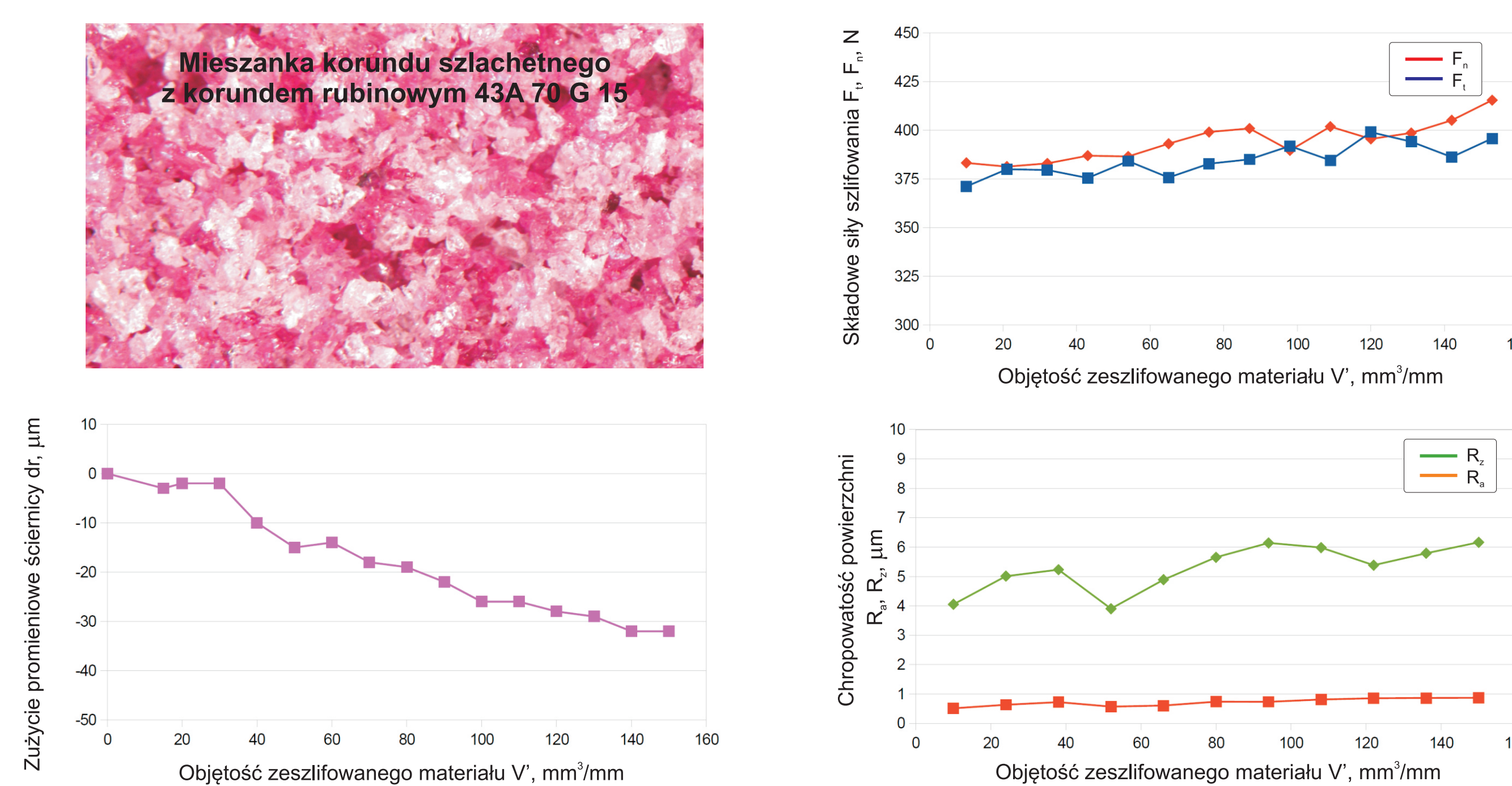
Przebadano trzy typy ściernicy (there were tests 3 types of grinding wheels):

- 43A 70 G 15; 75A 60 H 14; 35A 80 G 14; 37A 80 H 14.

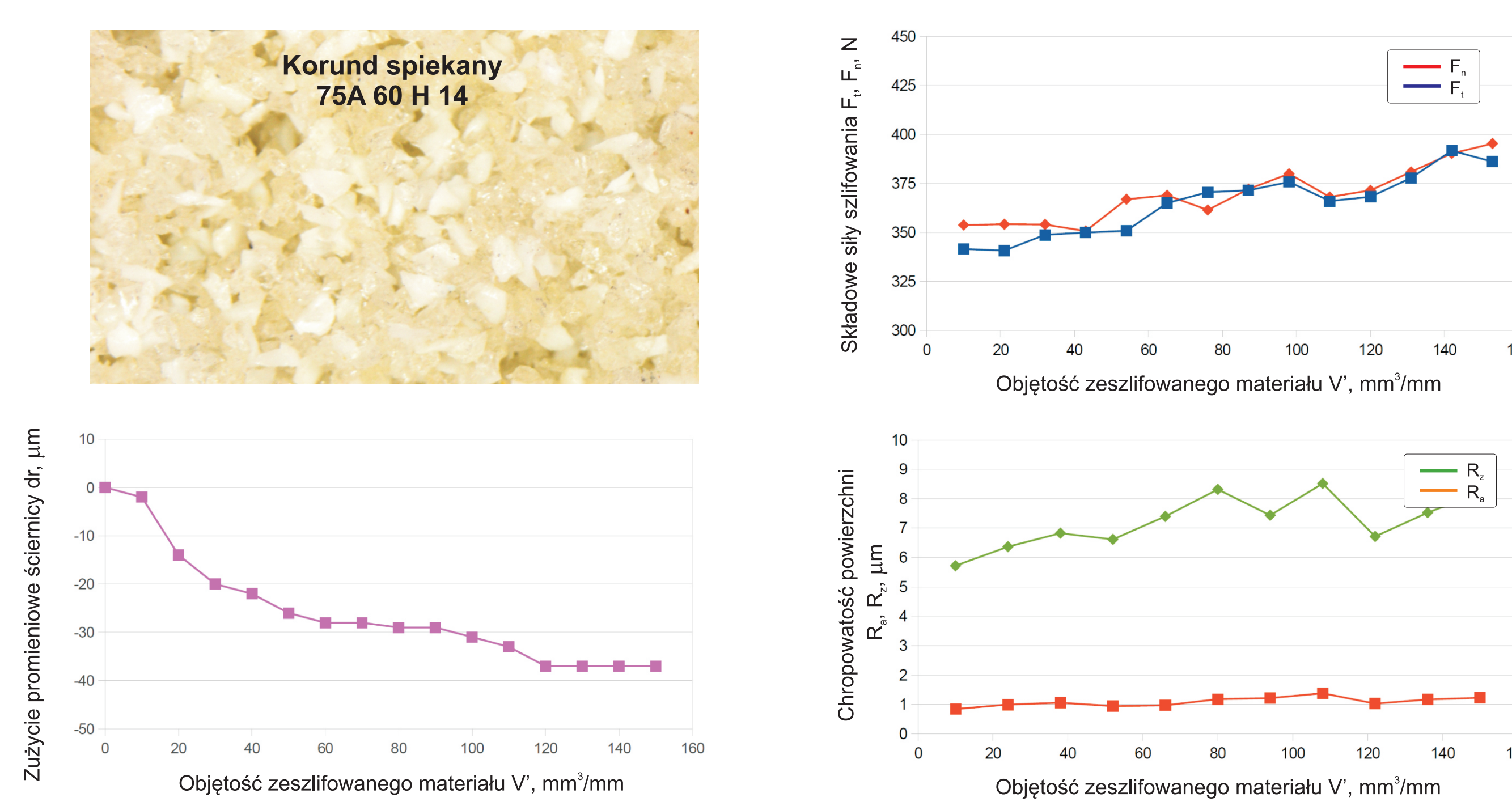
Na poniższych rysunkach przedstawiono zmiany chropowatości szlifowanej powierzchni, składowych siły szlifowania (miernik mikro-zużycia ściernicy) oraz promienia ściernicy (miernik makro-zużycia ściernicy) w okresie trwałości ściernicy.



Rys. 7. Wyniki otrzymane w szlifowaniu ściernicą 43A 70 G 15.  
Fig. 7. Results obtained in grinding using 43A 70 G 15 grinding wheel.



Rys. 8. Wyniki otrzymane w szlifowaniu ściernicą 43A 70 G 15.  
Fig. 8. Results obtained in grinding using 43A 70 G 15 grinding wheel.



Rys. 9. Wyniki otrzymane w szlifowaniu ściernicą 75A 60 H 14.  
Fig. 9. Results obtained in grinding using 75A 60 H 14 grinding wheel.

#### Wnioski Conclusions

##### Badania procesu obciążania rolką kształtową

###### Studies of dressing using profile roller

- Wartość dosuwu obciążania ad determinowana jest topografią powierzchni obciążacza rolkowego. Maksymalna wartość dosuwu obciążania ograniczona jest maksymalną wysokością ziaren diamentowych. Dla badanej rolki maksymalna wartość dosuwu w jednym przejściu wynosiła  $a_d(max)=0,02$  mm.

The value of dressing infeed is determined by the topography of the surface of the roller dresser. The maximum value of dressing infeed is limited by the maximum height of diamond grains. For tested roller the maximum infeed in a single pass was  $a_d(max)=0,02$  mm.

- Wartość posuwu obciążania  $f_d$  wpływa zarówno na chropowatość szlifowanej powierzchni jak również na wartości składowych siły szlifowania. Dla małych wartości posuwu obciążania w zakresie 50 - 100 mm/min obserwuje się duże wartości siły szlifowania dochodzące do 400 N, a dla  $f_d=50$  mm/min zarejestrowano drgania. Dla dużych wartości posuwów rzędu 200 - 300 mm/min siły maleją ale znacznie pogarsza się jakość powierzchni i powstają rysy. Optymalnym posuwem obciążania dla przyjętych warunków badań był posuw  $f_d=150$  mm/min.

The value of dressing feed  $f_d$  influence on the roughness of the grounded surface as well as on the grinding force components. For small values of the dressing feed 50 - 100 mm/min there were observed large values of grinding force up to 400 N, and for  $f_d = 50$  mm/min was recorded chatter. For high feed rates of 200 - 300 mm/min forces decrease but significantly worsens the quality of the surface and creates cracks. For adopted tests conditions the optimum dressing feed was  $f_d = 150$  mm/min.

- Wartość stosunku prędkości rolki i ściernicy  $q_d$  wywiera wpływ na wartości składowych siły szlifowania natomiast wbrew danym producentów ściernic parametru  $q_d$  wywiera tylko nieznaczny wpływ na chropowatość szlifowanej powierzchni. Mała wartość stosunku prędkości prowadzi do większych wartości chropowatości oraz zwiększa tendencję do powstawania drgań. Powoduje to jednak spadek składowych siły szlifowania. Większe wartości stosunku prędkości pozwalają uzyskać lepszą jakość powierzchni co jest okupione wyższymi wartościami składowych siły szlifowania i zwiększa ryzyko powstania przypaleń szlifierskich. Optymalne wartości stosunku prędkości kształtują się na poziomie  $q_d=0,5 - 0,6$ .

Speed ratio of diamond roller and grinding wheel  $q_d$  influence on the components of the grinding force and against the opinion of the grinding wheels manufacturers  $q_d$  parameter has only a slight effect on the roughness of the grounded surface. A low speed ratio leads to higher surface roughness and increases the tendency to the formation of chatter. However, this decrease the grinding force components. Higher values of speed ratio leads to better surface quality and higher values of grinding force components and additionally increases the risk of grinding burns. The optimum speed ratio is  $q_d = 0,5 - 0,6$ .

##### Badania szlifowania CFG stopu Inconel 718

###### Studies of CFG grinding process of Inconel 718 alloy

Znaczna porowatość użytych ściernic zapobiega powstawaniu uszkodzeń warstwy wierzchniej np. przypaleniom. Jednak związana z tym szybka utrata profilu ściernicy powoduje konieczność częstego przeprowadzania czasochłonnej operacji obciążania. Dodatkowo znaczna chłonność ściernicy ułatwia transport znacznych ilości chłodziwa do strefy obróbki. Przyjmując wartość składowych siły szlifowania jako wskaźnik mikro-zużycia ściernicy można stwierdzić, że tępienie ziaren ściernych oraz zalepanie porów ściernicy nie jest dominującą formą zużycia ściernicy w procesie szlifowania CFG stopu Inconel.

A significant porosity (open structure) used grinding wheels prevents damage of the surface layer, e.g. grinding burns. However, associated with it rapid losing of a grinding wheel profile causes the necessity of frequent time-consuming dressing operations. In addition, high absorption of grinding wheels allows easy transport large amounts of coolant to the cutting zone. Assuming the value of grinding force components, as an indicator of micro-wear of grinding wheel can be concluded that the blunting of the abrasive grains and gumming up of a grinding wheels are not the dominant forms of grinding wheel wear in the CFG grinding process of Inconel alloys.

Przeprowadzone badania prowadzą do następujących wniosków:

- z uwagi na charakter zużycia ściernicy koniec okresu trwałości ściernicy wiąże się ze znaczną utratą ich profilu,
- wzrost wartości sił szlifowania w całym przyjętym okresie trwałości dla wszystkich badanych ściernic nie przekroczył 30%,
- zużycie profilu dla badanych ściernic mieściło się w zakresie od 35µm dla ściernicy wykonanej z mieszanki korundu szlachetnego z korundem rubinowym do 48µm dla ściernicy wykonanej z korundu spiekane,
- zwiększone zużycie objętościowe skutkuje wzrostem chropowatości powierzchni obrabianej w okresie trwałości ściernicy dlatego największy wzrost chropowatości zarejestrowano dla ściernicy wykonanej z korundu spiekane,

The studies lead to the following conclusions:

- due to the nature of the grinding wheel wearing the end of the life of grinding wheel is associated with significant losing of their profile,
- increase of the grinding forces in adopted grinding wheel lifetime for all types of grinding wheels does not exceed 30%,
- wear of the grinding wheel profile for tested types of grinding wheels was in the range from 35µm for the grinding wheel made of a mixture of aluminum oxide and ruby corundum to 48µm for grinding wheel made of sintered alumina,
- increased volume wear results in an increasing of grounded surface roughness during the lifetime of the grinding wheel so the largest increasing of surface roughness was recorded for wheel made of sintered alumina.

#### Wskaźniki realizacji celów projektu

##### Indicators of the project

##### Referaty:

- Referaty planowane do wygłoszenia na XXXVI Naukowej Szkole Obróbki Ściernicy:
1. Babiarz R., Żyłka Ł., Ostrowski R.: **Wpływ charakterystyk ściernicy na parametry jakościowe szlifowanej powierzchni zamka łopatek silnika lotniczego**
  2. Żyłka Ł., Babiarz R., Ostrowski R.: **Wpływ parametrów obciążania rolką kształtową na chropowatość szlifowanej powierzchni zamka łopatek silnika lotniczego**
  3. Żyłka Ł., Babiarz R., Ostrowski R.: **Metodyka doboru parametrów obciążania rolką kształtową w szlifowaniu stopu Inconel 718**

##### Publikacje w przygotowaniu:

1. Babiarz R., Żyłka Ł., Ostrowski R.: **Wpływ charakterystyk ściernicy na parametry jakościowe szlifowanej powierzchni zamka łopatek silnika lotniczego**
2. Żyłka Ł., Babiarz R., Ostrowski R.: **Wpływ parametrów obciążania rolką kształtową na chropowatość szlifowanej powierzchni zamka łopatek silnika lotniczego**
3. Żyłka Ł., Babiarz R., Ostrowski R.: **Metodyka doboru parametrów obciążania rolką kształtową w szlifowaniu stopu Inconel 718**

##### Prace mgr, dr, hab.

##### Prace magisterskie planowane

- Marcin Mąlek: **Projekt frezy kształtowego do obróbki gniazda zamocowania łopatek silnika lotniczego**. Promotor: dr inż. Łukasz Żyłka, planowany termin obrony: czerwiec 2013 r.