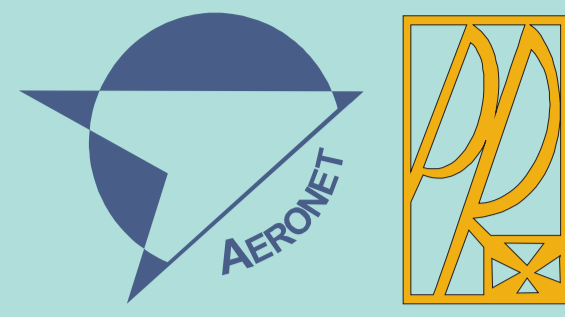


Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry



KONFERENCJA
RADY PARTNERÓW CZT AERONET
I PANELE EKSPERTÓW
23-24 Czerwca 2014

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

Kształtowanie warstwy wierzchniej oraz wskaźniki jakościowe obróbki w procesie toczenia wykończeniowego stopu tytanu na osnowie fazy międzymetalicznej TiAl(γ)
Surface integrity and quality factors in process of finish turning of intermetallic titanium alloys TiAl(γ)

Wprowadzenie

Wytwarzanie części ze stopów tytanu na osnowie fazy międzymetalicznej TiAl jest szczególnie trudne ze względu na niską skrawalność, która wynika ze specyficznych właściwości stopu:
- mała zdolność do odkształceń plastycznych (wydłużenie $A < 2\%$) oraz dużą kruchość $K_{IC} = 25 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$,
- mała wartość współczynnika przewodności cieplnej ($\lambda = 13 \text{ W/m}^2\text{K}$),
- duża reaktywność chemiczna w tym silne powinowactwo do gazów atmosferycznych w podwyższonej temperaturze.

Machining of gamma titanium aluminide TiAl(γ) is difficult due to the low machinability, that is attributable to the specific properties of the alloy:
- low formability (elongation $A < 2\%$) and high friability $K_{IC} = 25 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$,
- low thermal conductivity ($\lambda = 13 \text{ W/m}^2\text{K}$),
- propensity to form segmented chips,
- high chemical reactivity including a strong affinity for atmospheric gases at elevated temperature.

Additionally, during the cutting process are created damages to the work surface which significantly lower operational properties of manufactured items which are required to high reliability.

Stanowisko badawcze

Badania wpływu parametrów skrawania: prędkości skrawania v_c , posuwu f i głębokości skrawania a_p oraz materiału ostrzy narzędzi skrawających na wartości składowych całkowitej siły skrawania i stanu warstwy wierzchniej prowadzono z użyciem tokarki NEF 600 z układem sterowania Fanuc 200i (rys. 1).

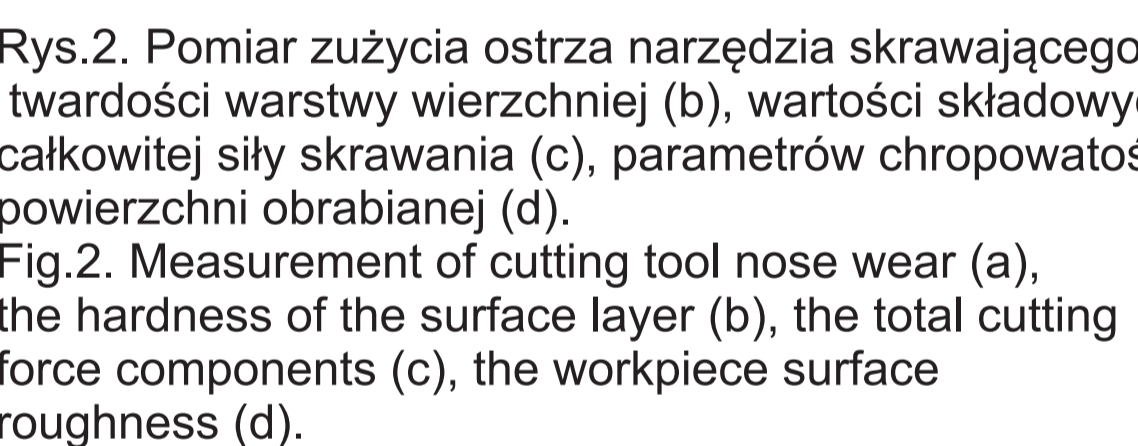
Do pomiaru zużycia ostrza narzędzia skrawającego zastosowano mikroskop stereoskopowy wyposażony w kamerę cyfrową oraz oprogramowanie do analizy obrazu. Pomiar twardości prowadzono z zastosowaniem twardościomierza firmy CSM, pomiar parametrów chropowatości powierzchni obrabianej prowadzono z zastosowaniem głowicy pomiarowej Mahr natomiast wartości składowych całkowitej siły skrawania określano z zastosowaniem siłomierza piezoelektrycznego o zakresie pomiarowym 5 kN.

Studies on impact of cutting parameters: cutting speed v_c , feed f and depth of cut a_p and type of cutting tools material on the value of the components of the cutting forces and the surface layer was carried out using a lathe NEF 600 with Fanuc 200i control system.

To measure the cutting tool wear were used stereo microscope with a digital camera and image analysis software. The hardness measurement was carried out using CSM measurement of machined surface roughness was carried out using the Mahr head and the total cutting force components determined using a piezoelectric dynamometer with a measuring range 5 kN.



Rys. 1. Stanowisko badawcze
Fig. 1. The test stand



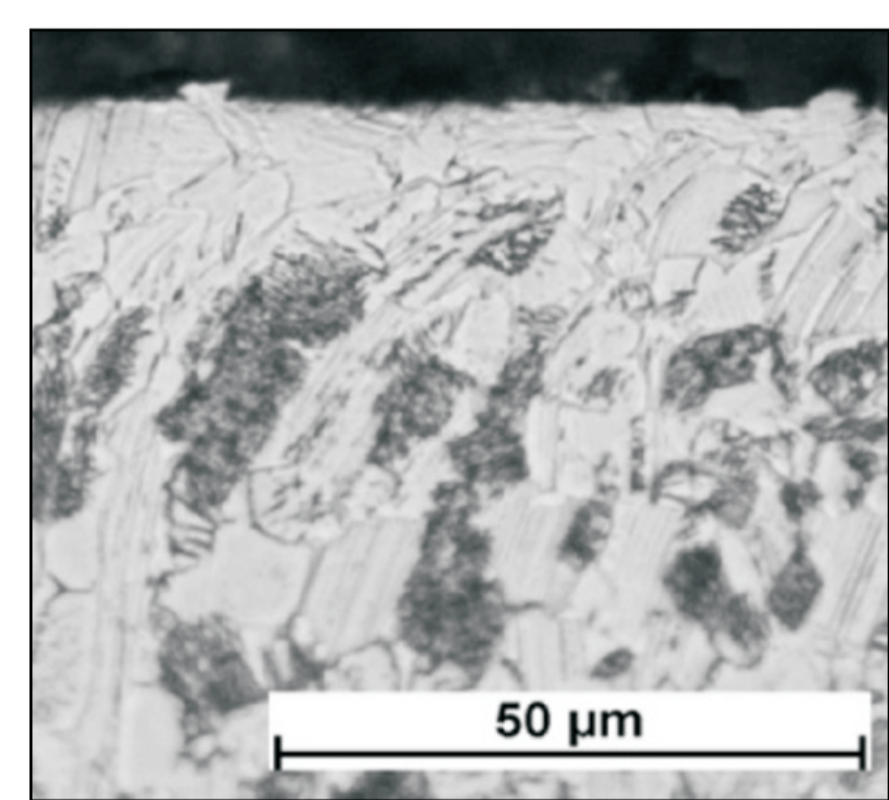
Rys. 2. Pomiar zużycia ostrza narzędzia skrawającego (a), twardości warstwy wierzchniej (b), wartości składowych całkowitej siły skrawania (c), parametrów chropowatości powierzchni obrabianej (d).

Metodyka badań

Badania prowadzono na elemencie w kształcie walca o średnicy 70 mm wykonanego ze stopu tytanu na osnowie fazy międzymetalicznej TiAl(γ) - Ti-45Al-5Nb-0,2B-0,2C.

Tabela 1. Właściwości stopu tytanu na osnowie fazy międzymetalicznej TiAl(γ) Ti-45Al-5Nb-0,2B-0,2C
Table 1. Properties of the gamma titanium alloy TiAl(γ) Ti-45Al-5Nb-0,2B-0,2C

Moduł Younga E , GPa	150
Umowna granica elastyczności $R_{0,2}$, MPa	1050
Wyrzynalność na rozciąganie R_m , MPa	1100
Wydłużenie A , %	2
Odporność na pęknięcie K_{IC} , $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$	25
Współczynnik przewodności cieplnej λ , $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	13
Ciepło właściwe c , $\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	0,63



Rys. 3. Mikrostruktura powierzchni obrabianej
Fig. 3. machined surface microstructure

W prowadzonych badaniach jako podstawową operację przyjęto toczenie wzdłużne. Zastosowano wkładki ostrzowe wykonane z węgla spiekanego, regularnego azotku boru (CBN) oraz ceramiki narzędziowej. Parametry skrawania ustalono na podstawie wyników wstępnych prób z uwzględnieniem zaleceń przemysłowych (Tab. 2).

The study was conducted on an element in the shape of a cylinder with a diameter of 70 mm made of gamma titanium alloy TiAl(γ) - Ti-45Al-5Nb-0,2B, 2C. In this study, the basic operation assumed longitudinal turning. Applied cutting tool made of cemented carbide, cubic boron nitride (CBN) and ceramic tool. Cutting was based on the results of preliminary tests taking into account the recommendations of industry (Tab. 2).

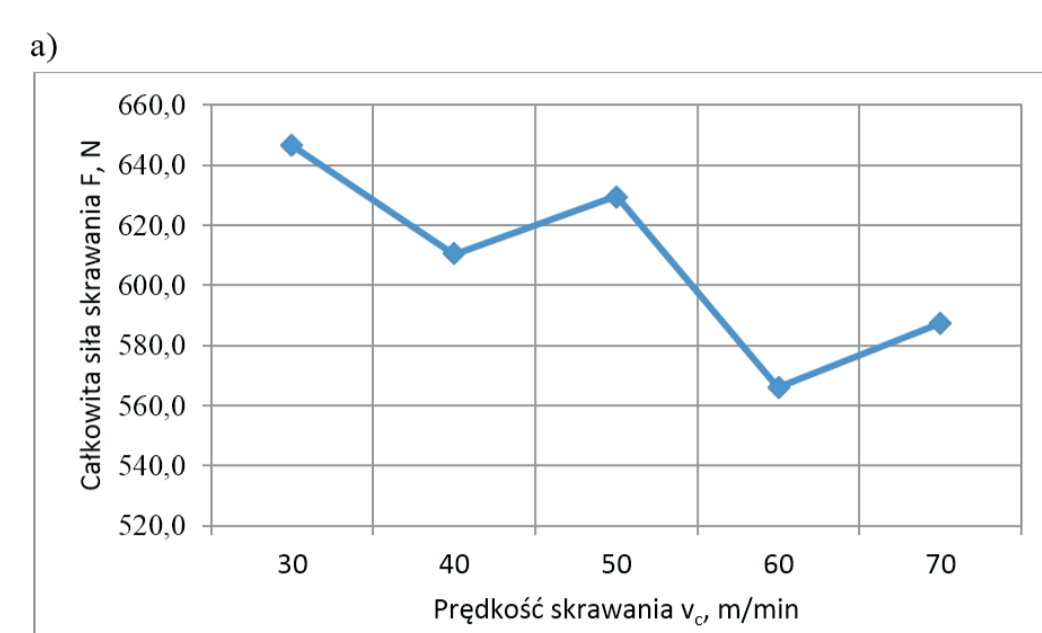
Tabela 2. Parametry skrawania
Table 2. Cutting parameters

Wkładka ostrzowa	RCMT1204 MO-SM 1115	RCHT1204 MO CB50	RNGN 120700 T01020 670
Oprapka	SRSLC 2525M 12	SRSLC 2525M 12	CRSNL 2525M 12
Prędkość skrawania v_c , m/min	30-70	90-210	50-400
Głębokość skrawania a_p , mm	0,15-0,35	0,15-0,35	0,15-0,35
Posuw f , mm/obr	0,05-0,15	0,05-0,15	0,05-0,15

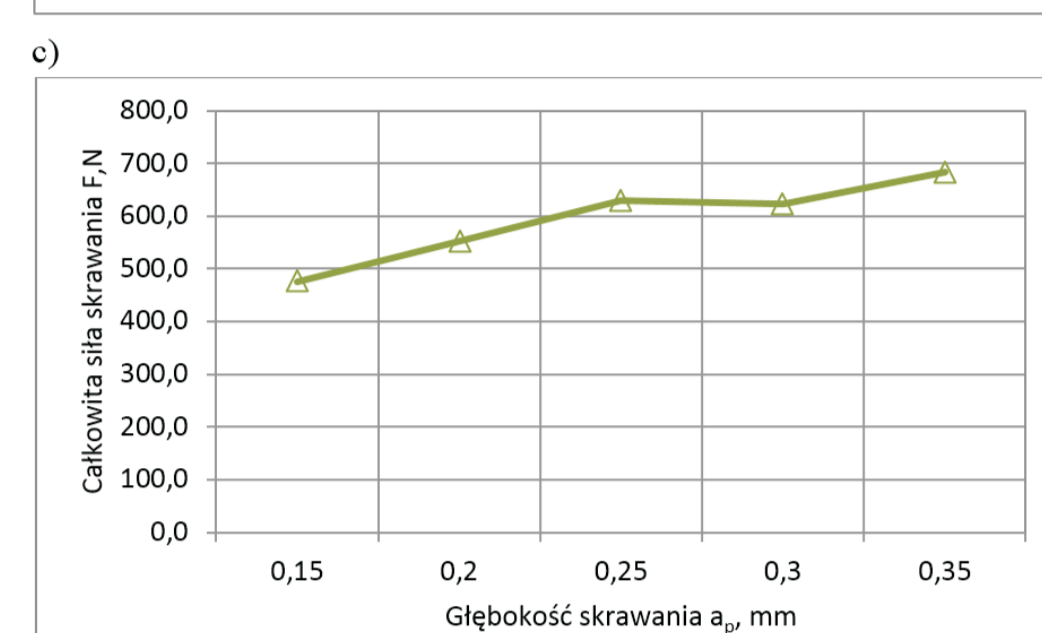
Wyniki badań

W prowadzonych badaniach stwierdzono, że największą wartość przyjmuje siła odporowa, której wartość zmniejsza się wraz ze zwiększeniem prędkości skrawania, co może być spowodowane uplastycznieniem materiału pod wpływem podwyższenia temperatury w strefie skrawania. Natomiast w przypadku obróbki wkładką ostrzową z ceramiki narzędziowej następowało zwiększenie wartości siły skrawania, co wynikało z jej intensywnego zużycia. Zwiększenie przekroju warstwy skrawanej poprzez zwiększanie wartości posuwu i głębokości skrawania powodowało zwiększenie wartości siły skrawania (rys. 4-6).

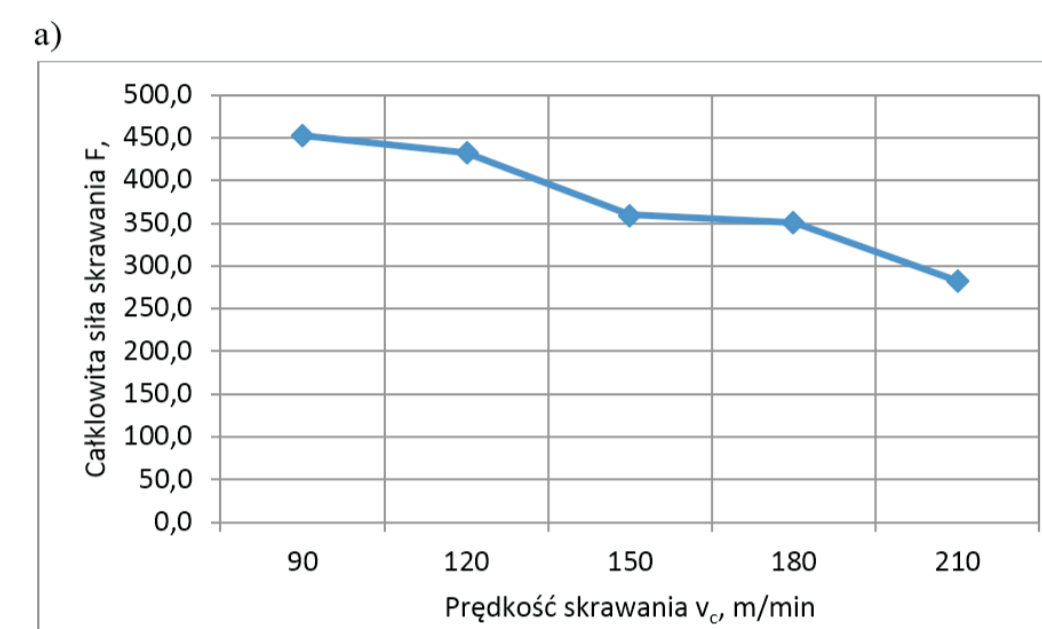
In this study, it was found that the highest strength flapper assumes a value, the value of which decreases with increasing cutting speeds, which may be caused by plastic deformation of the material under the influence of temperature increase in the cutting zone. However, for fluted insert machining tool ceramics was an increase in the cutting force, which resulted from the intense wear. Increasing cross-cutting layer by increasing the feed rate and depth of cut resulted in an increase in the values of all components.



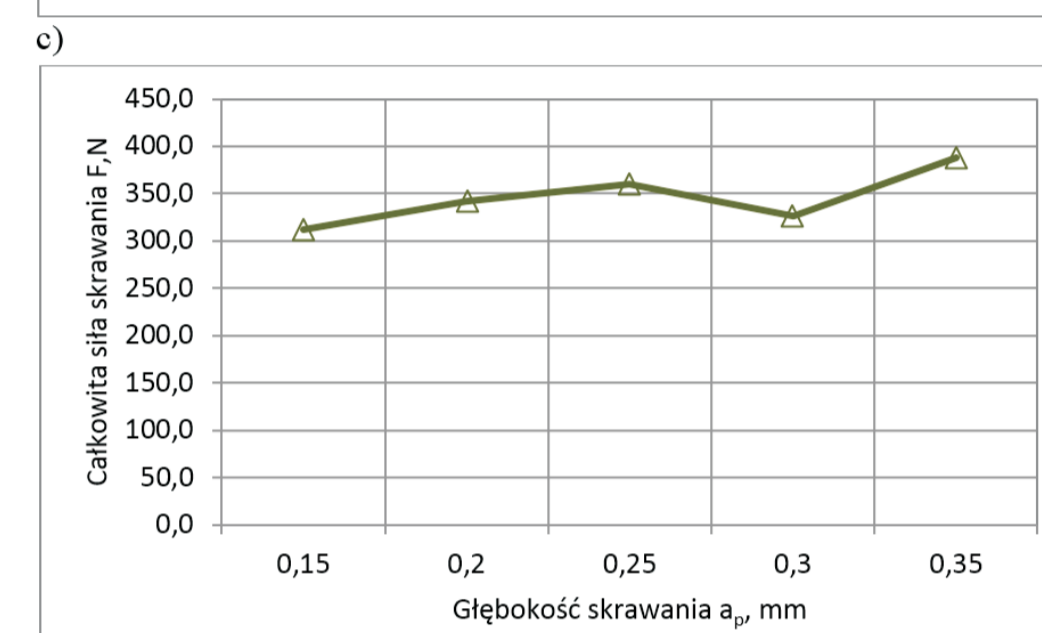
Rys. 4. Całkowita siła skrawania podczas toczenia wkładką ostrzową RCMT 1204 MO-SM 1115 w zależności od parametrów skrawania: a) $a_p=0,25 \text{ mm}$, $f=0,1 \text{ mm/obr.}$, b) $v_c=50 \text{ m/min}$, $a_p=0,25 \text{ mm}$, c) $v_c=50 \text{ m/min}$, $f=0,1 \text{ mm/obr.}$



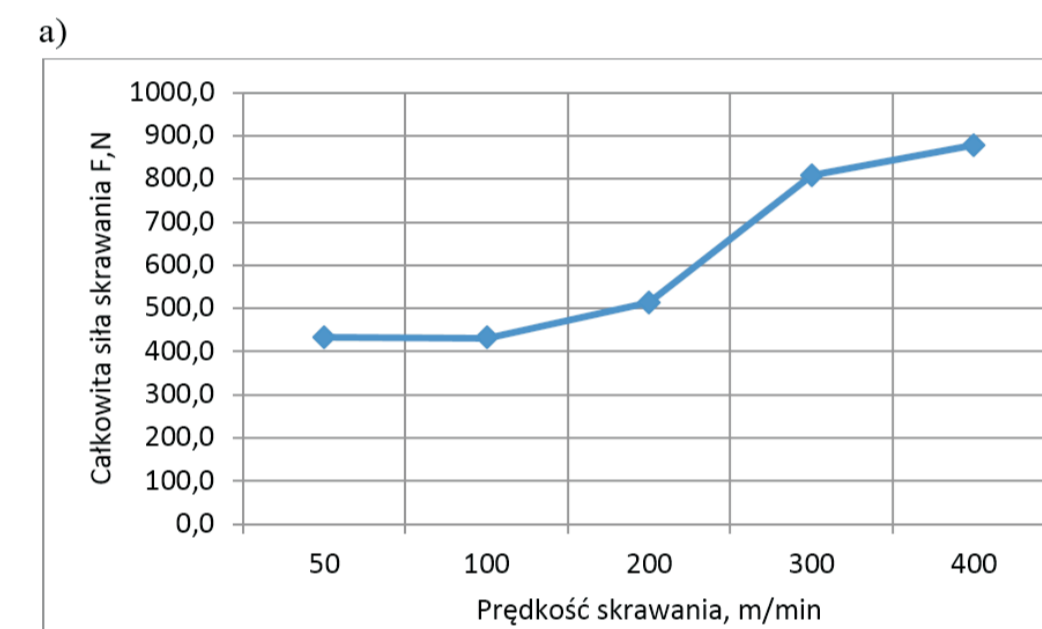
Rys. 5. Całkowita siła skrawania podczas toczenia wkładką ostrzową RCHT 1204 MO CB50, cutting parameters a) $a_p=0,25 \text{ mm}$, $f=0,1 \text{ mm/obr.}$, b) $v_c=150 \text{ m/min}$, $a_p=0,25 \text{ mm}$, c) $v_c=150 \text{ m/min}$, $f=0,1 \text{ mm/obr.}$



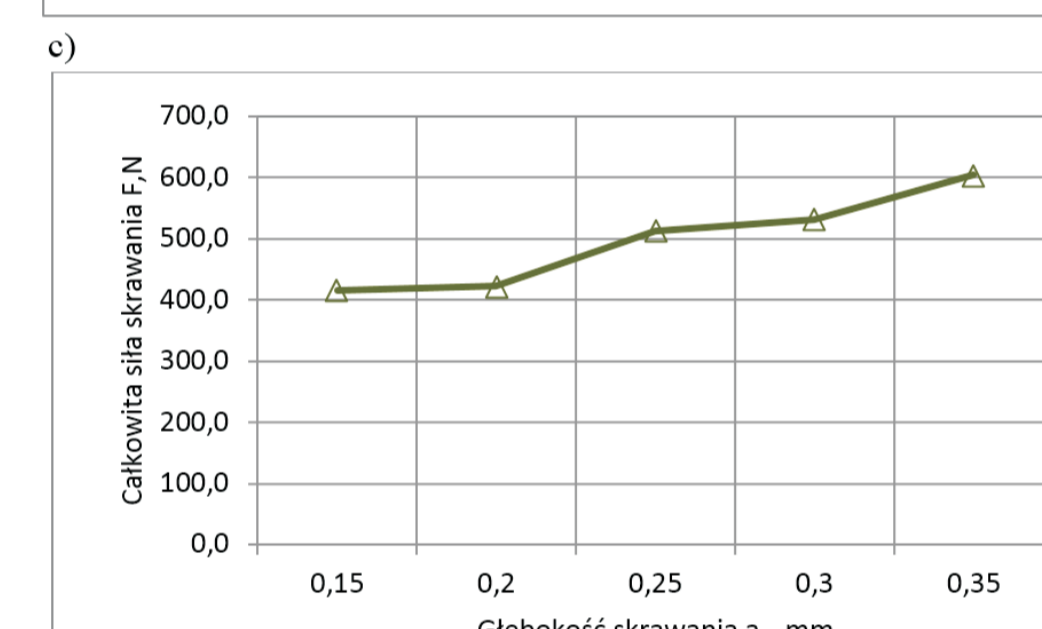
Rys. 6. Całkowita siła skrawania podczas toczenia wkładką ostrzową RNGN 120700 T01020 670 dla parametrów skrawania a) $a_p=0,25 \text{ mm}$, $f=0,1 \text{ mm/obr.}$, b) $v_c=200 \text{ m/min}$, $a_p=0,25 \text{ mm}$, c) $v_c=200 \text{ m/min}$, $f=0,1 \text{ mm/obr.}$



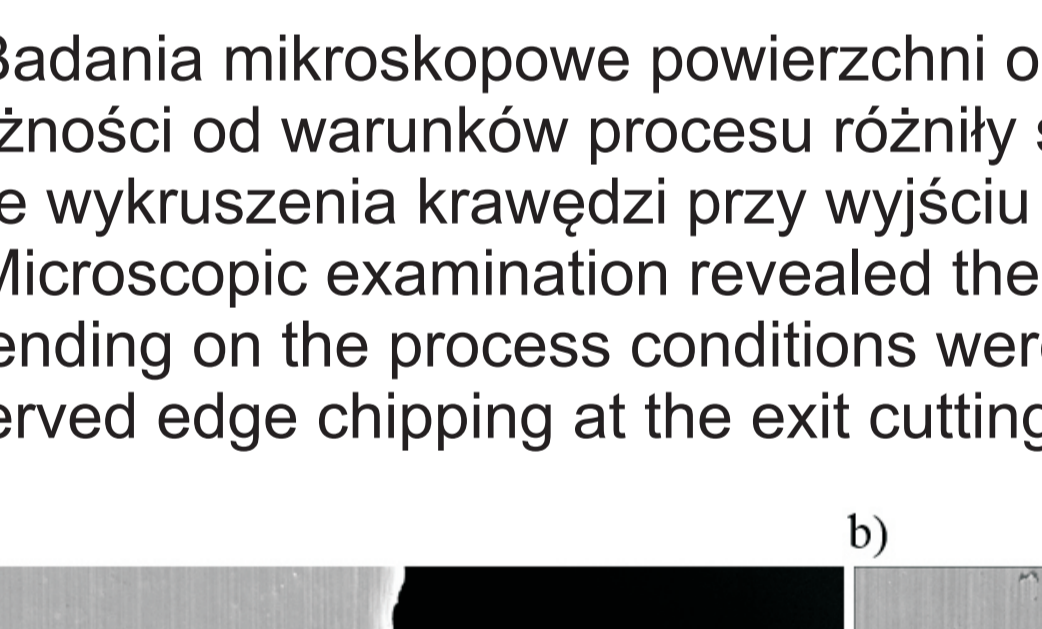
Rys. 7. Uszkodzenia powierzchni obrabianej a) wykruszenia krawędzi przy wyjściu ostrza narzędzia skrawającego z materiału obrabianego, b) nalepienia na powierzchni po procesie toczenia wykończeniowego Fig. 7. Surface damage a) at the outlet edge of the chipping blade the cutting tool of the workpiece, b) on the surface of the patch, the process of the finishing



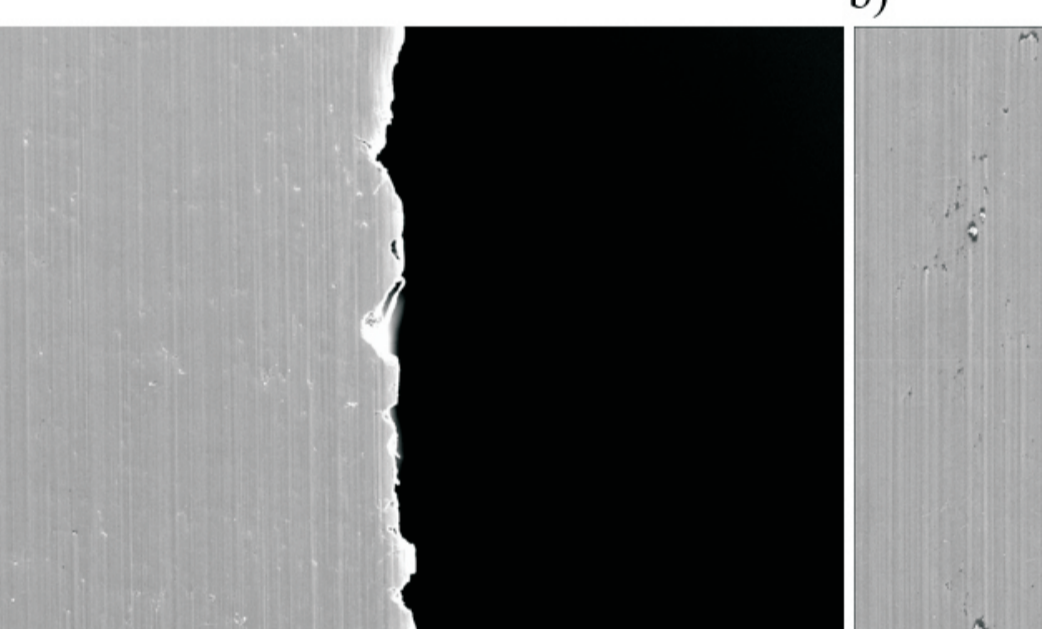
Rys. 8. Wartość parametru chropowatości Rz powierzchni obrabianej wkładką ostrzową RCMT 1204 MO-SM 1115 w zależności od parametrów skrawania: a) $a_p=0,25 \text{ mm}$, $f=0,1 \text{ mm/obr.}$, b) $v_c=50 \text{ m/min}$, $a_p=0,25 \text{ mm}$, c) $v_c=50 \text{ m/min}$, $f=0,1 \text{ mm/obr.}$



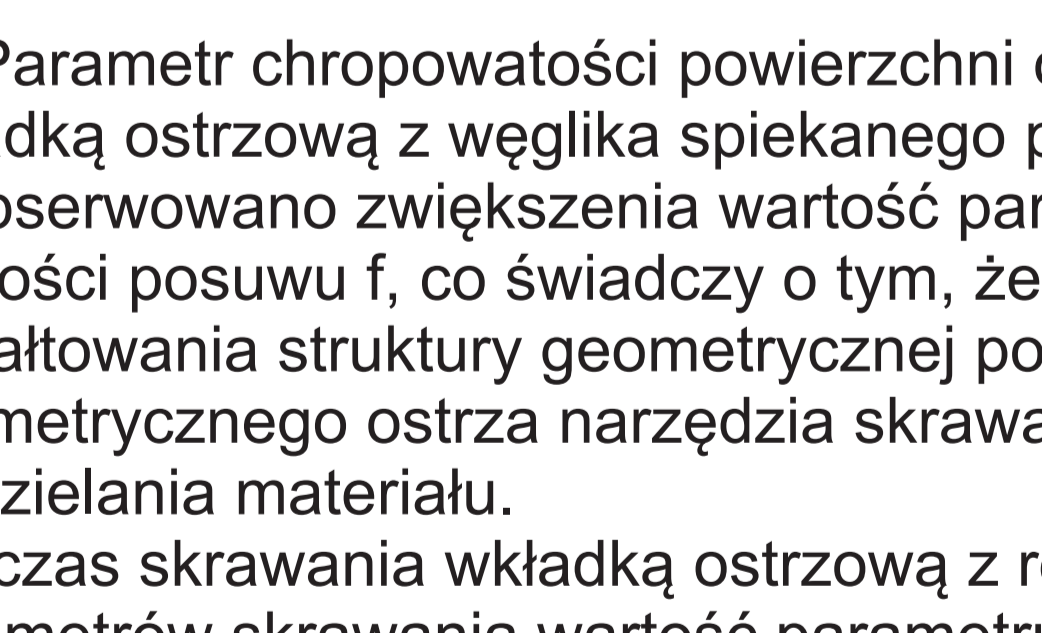
Rys. 9. Wartość parametru chropowatości Rz powierzchni obrabianej wkładką ostrzową RCHT 1204 MO CB50 w zależności od parametrów skrawania: a) $a_p=0,25 \text{ mm}$, $f=0,1 \text{ mm/obr.}$, b) $v_c=150 \text{ m/min}$, $a_p=0,25 \text{ mm}$, c) $v_c=150 \text{ m/min}$, $f=0,1 \text{ mm/obr.}$



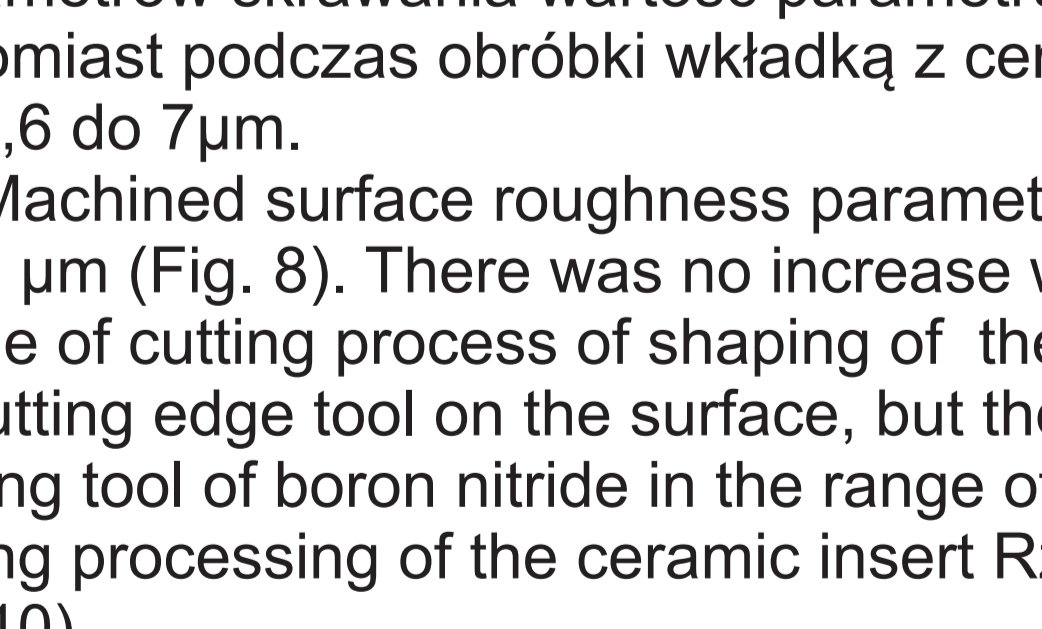
Rys. 10. Wartość parametru chropowatości Rz powierzchni obrabianej wkładką ostrzową RNGN 120700 T01020 670 w zależności od parametrów skrawania: a) $a_p=0,25 \text{ mm}$, $f=0,1 \text{ mm/obr.}$, b) $v_c=200 \text{ m/min}$, $a_p=0,25 \text{ mm}$, c) $v_c=200 \text{ m/min}$, $f=0,1 \text{ mm/obr.}$



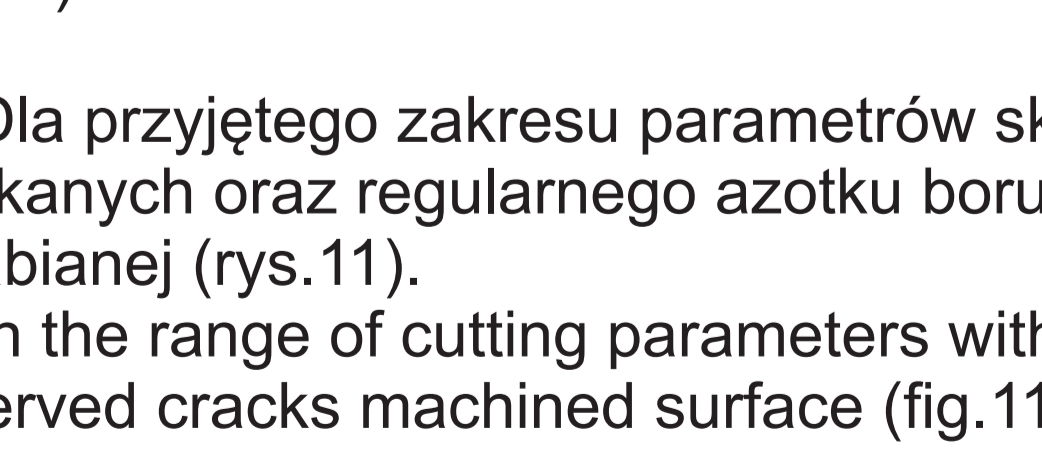
Rys. 11. Mikrostruktura warstwy wierzchniej po procesie toczenia wykończeniowego wkładką ostrzową RCMT 1204 MO-SM 1115 z parametrami skrawania: $v_c=50 \text{ m/min}$, $a_p=0,25$, $f=0,1 \text{ mm/obr.}$ Fig. 11. Microstructure the surface after finishing. Cutting tool RCMT1204 MO-SM 1115 cutting parameters: speed $v_c=50 \text{ m/min}$, depth $a_p=0,25$, feed $f=0,1 \text{ mm/rev.}$



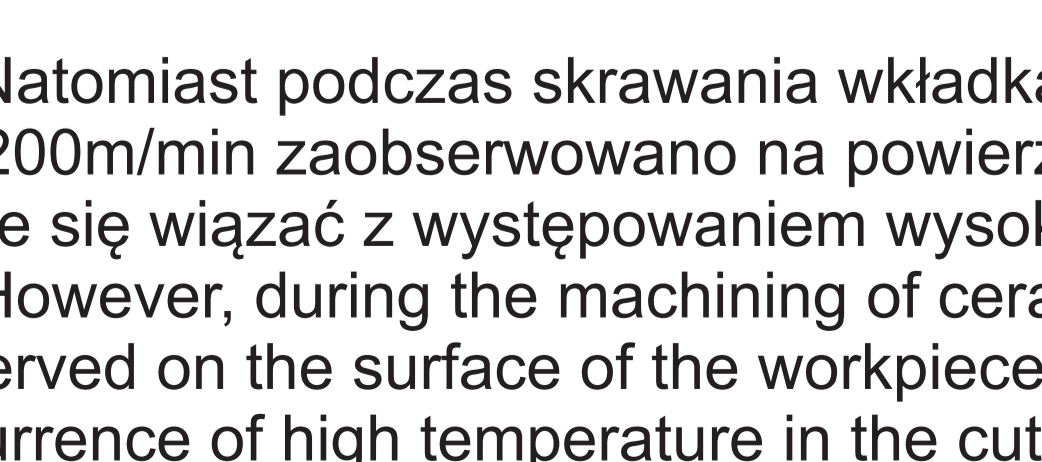
Rys. 12. Rozkład twardości w funkcji odległości od powierzchni obrabianej wkładką ostrzową RCMT 1204 MO-SM 1115 dla parametrów skrawania: $v_c=50 \text{ m/min}$, $a_p=0,25 \text{ mm}$, $f=0,05-0,15 \text{ mm/obr.}$ Fig. 12. Distribution of hardness as a function of distance from the surface after machining. Cutting tool RCMT 1204 MO-SM 1115 cutting parameters: $v_c=50 \text{ m/min}$, $a_p=0,25 \text{ mm}$, $f=0,05-0,15 \text{ mm/rev.}$



Rys. 13. Rozkład twardości w funkcji odległości od powierzchni obrabianej wkładką ostrzową RNGN 120700 T01020 670 z parametrami skrawania: $v_c=200 \text{ m/min}$, $a_p=0,25$, $f=0,05-0,15 \text{ mm/obr.}$ Fig. 13. Distribution of hardness as a function of distance from the surface after machining. Cutting tool RNGN 120700 T01020 670 with cutting parameters: $v_c=200 \text{ m/min}$, $a_p=0,25$, $f=0,05-0,15 \text{ mm/rev.}$



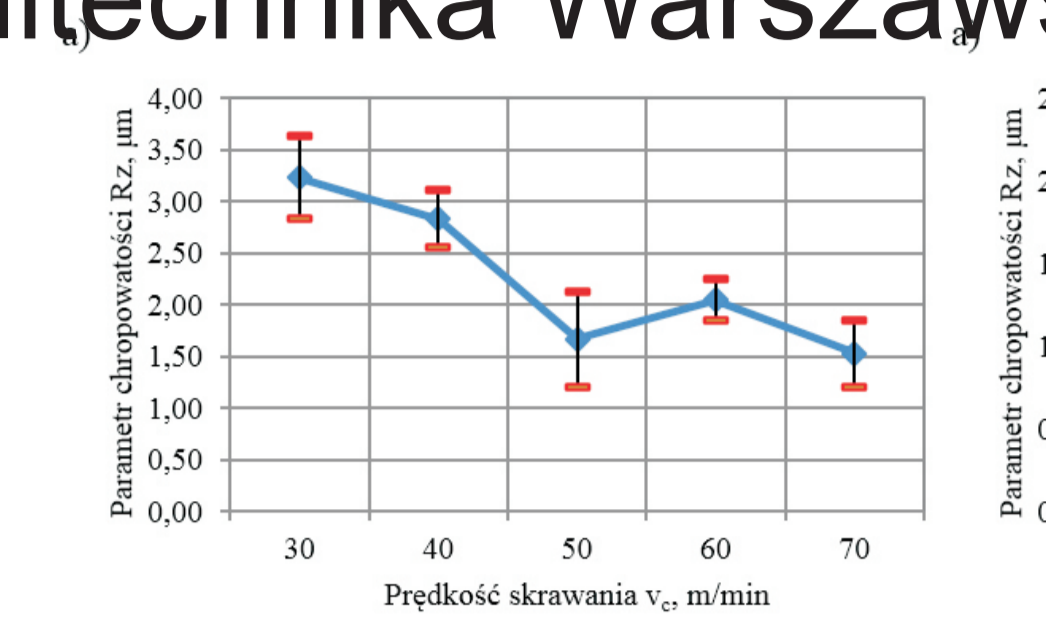
Rys. 14. Lopatka turbiny niskiego ciśnienia (LPT) Fig. 14. Low pressure turbine



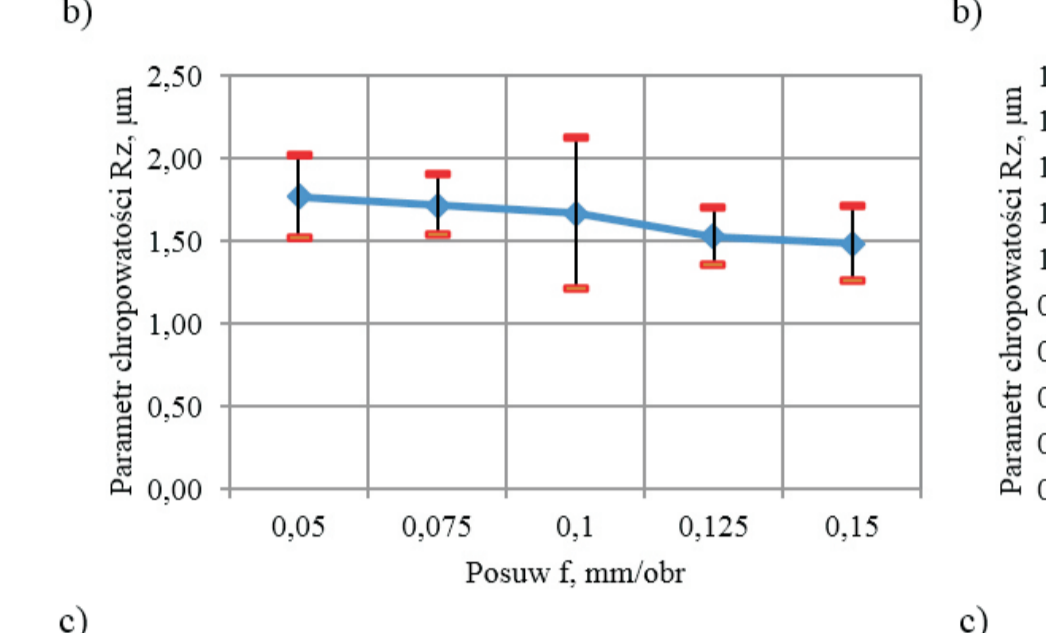
Rys. 15. Obudowa sprężarki silnika T700 Fig. 15. T700 engine compressor housing



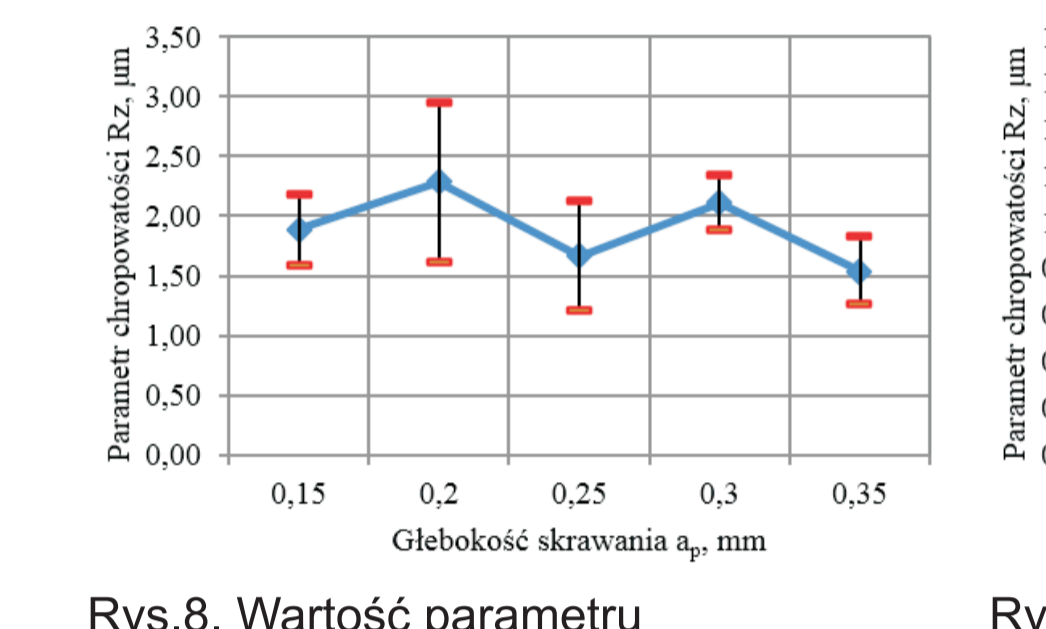
Rys. 16. Lopatka sprężarki wysokiego ciśnienia (HPC) Fig. 16. Blade high pressure compressor (HPC)



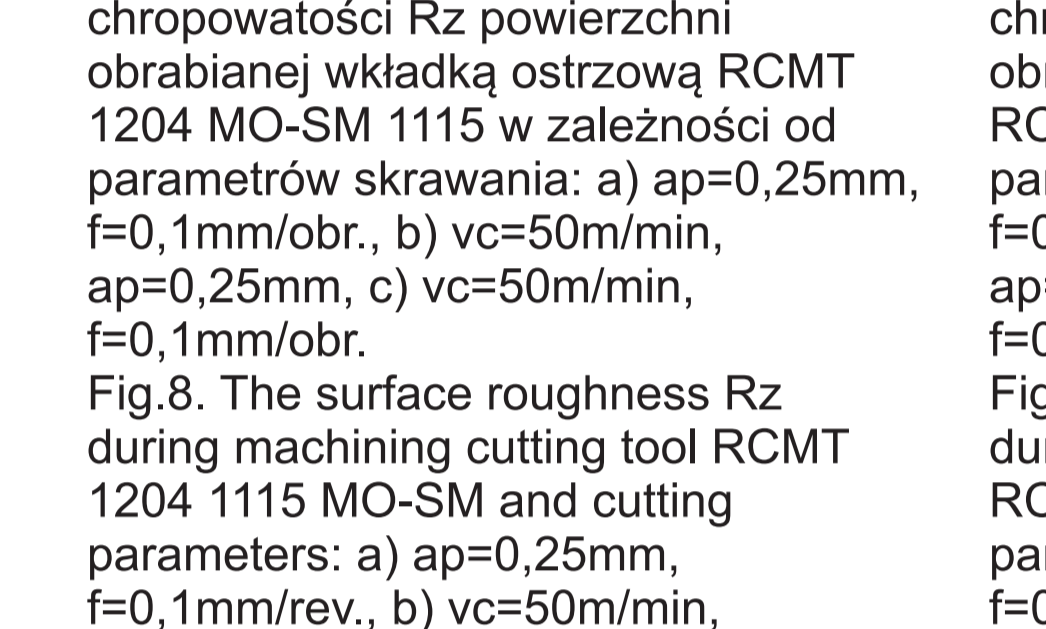
Rys. 17. Rotor turbiny niskiego ciśnienia (General Electric) Fig. 17. rotor low pressure turbine (General Electric)



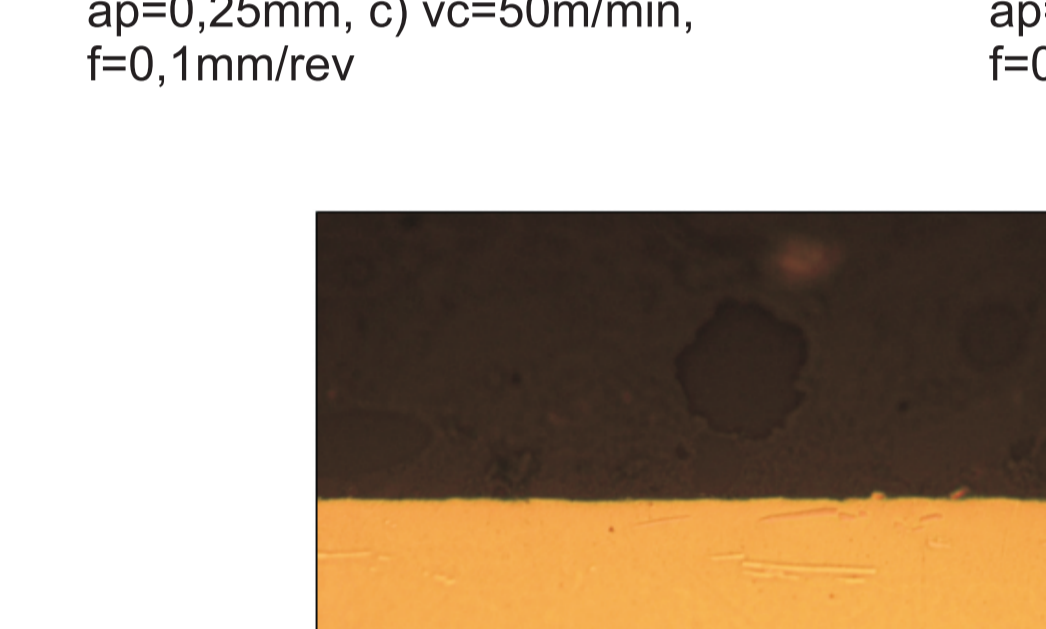
Rys. 18. Rotor turbiny niskiego ciśnienia (General Electric) Fig. 18. rotor low pressure turbine (General Electric)



Rys. 19. Rotor turbiny niskiego ciśnienia (General Electric) Fig. 19. rotor low pressure turbine (General Electric)



Rys. 20. Rotor turbiny niskiego ciśnienia (General Electric) Fig. 20. rotor low pressure turbine (General Electric)



Rys. 21. Rotor turbiny niskiego ciśnienia (General Electric) Fig. 21. rotor low pressure turbine (General Electric)



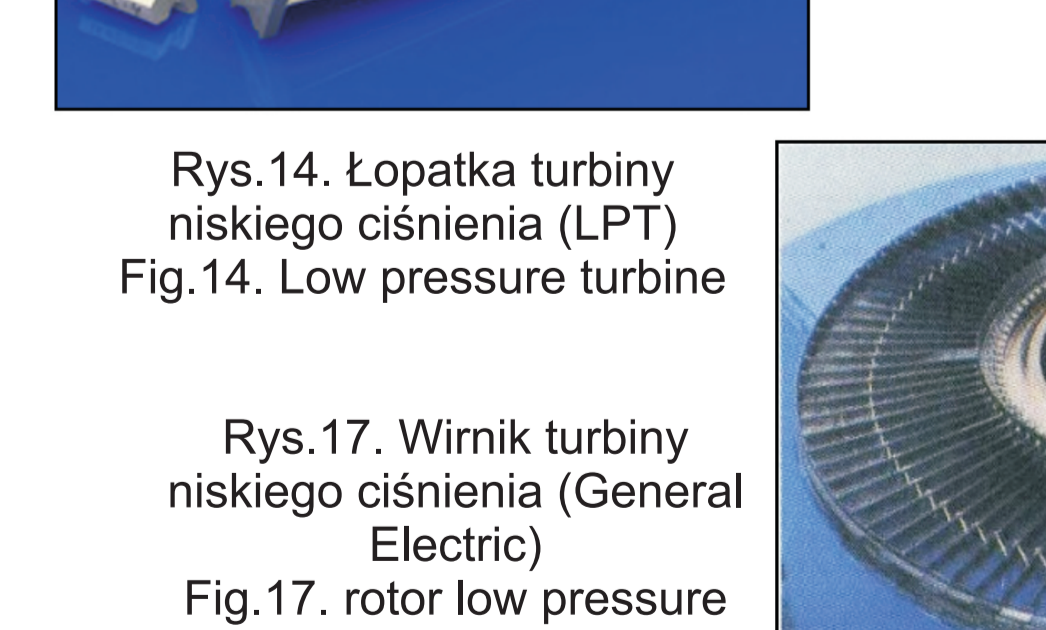
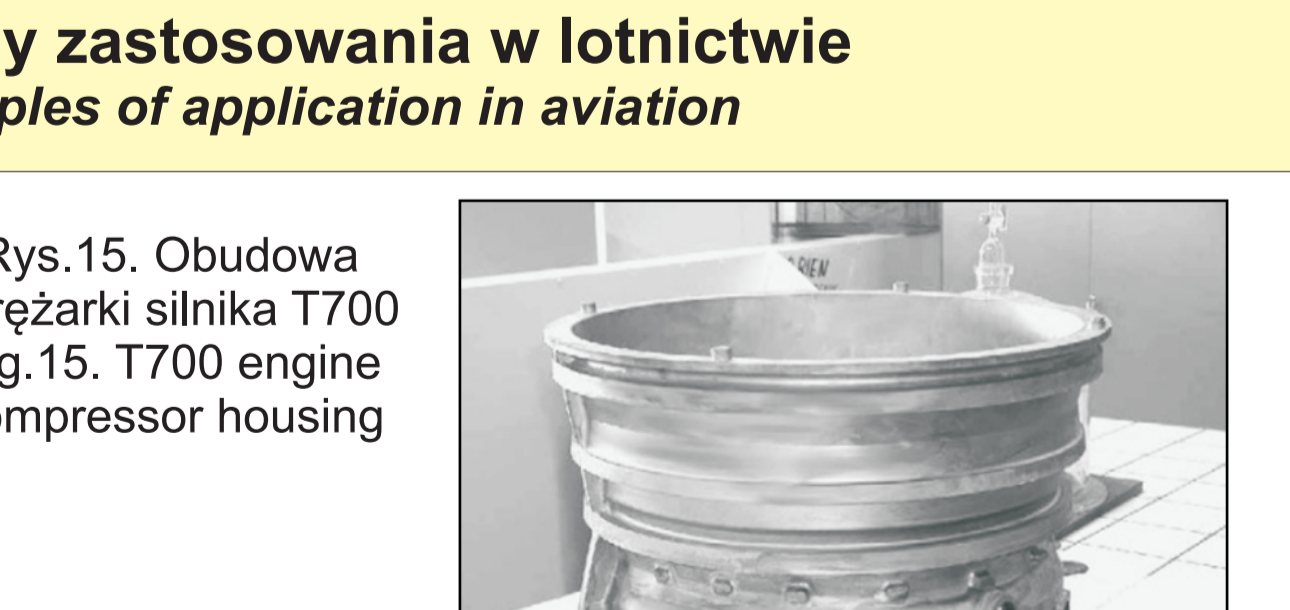
Rys. 22. Rotor turbiny niskiego ciśnienia (General Electric) Fig. 22. rotor low pressure turbine (General Electric)

Wnioski
Conclusions

W wyniku zastosowania okrągłych wkładek ostrzowych uzyskano zwiększenie trwałości ostrza narzędzia skrawającego. Stwierdzono, jednak występowanie dużych wartości składowych całkowitej siły skrawania, co może powodować odkształcenia podczas obróbki elementów cienkościennych. Największą wartość przyjmuje siła odporowa, co jest wynikiem relacji przyjętej głębokości skrawania do promienia naroża wkładki ostrzowej. Zastosowanie wkładki ostrzowej RCHT1204 MO CB50 z regularnego azotku boru podczas obróbki stopu Ti-45Al-5Nb-0,2B-0,2C dla przyjętego zakresu parametrów skrawania umożliwia uzyskanie najlepszej jakości powierzchni obrabianej oraz najmniejszej wartości całkowitej siły skrawania.

As a result of the round cutting tool was observed an increase tool life. It was found, however, there are major components of the overall cutting forces, which may cause deformation of the thin-walled components during processing. The highest value takes radial force, which is the result of taken depth to the nose radius of the cutting tool. The use of cutting tool RCHT1204 MO CB50 with cubic boron nitride during turning Ti-45Al-5Nb-0,2B, 2C for the assumed range of cutting parameters allows for the best quality of machined surface and the smallest of the cutting force.

Przykłady zastosowania w lotnictwie
Examples of application in aviation



Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym
Collaboration with aviation industry

Tematyka prowadzonych badań związanych z obróbką skrawaniem stopów tytanu na osnowie fazy międzymetalicznej TiAl(γ) umożliwi zwiększenie wydajności oraz poprawę stabilności procesu obróbki skrawaniem. Wyniki badań umożliwią ich praktyczne zastosowanie w warunkach przemysłowych m.in. w WSK "PZL-Rzeszów" S.A., PZL Mielec itp.

Research topics related to the titanium aluminide TiAl(γ) machining will substantially increase the efficiency and improve the stability of machining process. The results allow its practical use in industrial environments such as in WSK "PZL-Rzeszów" S.A., PZL Mielec, etc.