

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 weryfikujące funkcjonowanie inteligentnego systemu sterowania procesem szlifowania

Verification of the application of the control system for grinding.

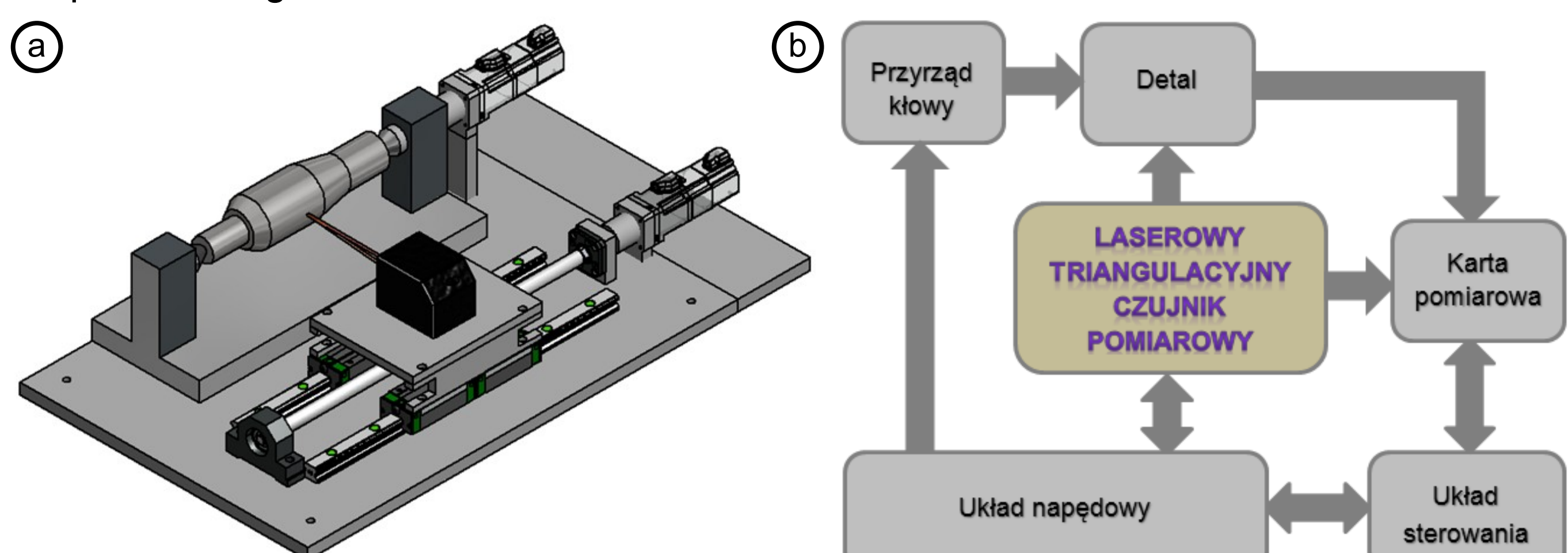
- Przebudowa wrzeciennika ściernicy szlifierki TOS BUA-25 w celu zamontowania piezoelektrycznych czujników siły firmy Kistler. Przeprowadzono wzorcowanie torów pomiaru składowych odporowej, stycznej i osiowej siły szlifowania.
Conversion of grinding wheel headstock of TOS BUA-25 grinding machine in order to mount piezoelectric three axis Kistler force sensors. Calibration of measurement channels of tangential, normal and axial force components.
- Opracowano modele procesu szlifowania (siły, odkształceń sprężystych, dynamiki procesu szlifowania, temperatury, geometrii powierzchni obrabianej i ściernicy).
Development of grinding process models (force, workpiece elastic deformation, dynamics, temperature and geometry of the workpiece and grinding wheel).
- Opracowano oprogramowanie pomiarowe do rejestracji składowych sił szlifowania, drgań, emisji akustycznej, falistości przedmiotu i ściernicy oraz mikrogeometrii ściernicy.
Development of measurement software for acquisition of force components, grinding vibrations, acoustic emission signal, shape of the workpiece and grinding wheel and micro-geometry of grinding wheel.
- Opracowano oprogramowanie do analizy parametrów makro i mikrogeometrii czynnej powierzchni ściernicy CPS.
Development of software for analysis of macro and micro-geometry of grinding wheel.
- Opracowano algorytmy identyfikacji wczesnych symptomów niepożądanych stanów procesu, tj. uszkodzeń cieplnych, drgań samowzbudnych, wykruszania się ściernicy, itp. z wykorzystaniem metod analizy składowych głównych PCA i modeli regresji z użyciem PCA (Principal component regression PCR), składowych niezależnych ICA i drzew decyzyjnych - zadanie w trakcie realizacji.
Development of algorithms for identification of early symptoms of undesired process states, i.e. thermal defects, chatter vibrations, self-sharpening of grinding wheel, etc. with the use of standard and Kernel principal and independent component analysis and decision trees/Petri Nets. Task during realization.
- Opracowano algorytmy estymacji parametrów warstwy wierzchniej przedmiotów obrabianych - zadanie w trakcie realizacji.
Development of algorithms for estimation of workpiece surface layer parameters. Task during realization.
- Opracowanie systemu sterowania geometrycznego dla demonstratora inteligentnego systemu szlifowania oraz przeprowadzenie wstępnych badań weryfikujących jego działanie.
Development of the geometrical control system for intelligent grinding system demonstrator and conduction of preliminary experimental tests.
- Przeprowadzono badania procesu szlifowania dla lotniczych i konwencjonalnych materiałów obrabianych w celu przygotowania danych dla modeli procesu szlifowania oraz weryfikacji tych modeli - zadanie w trakcie realizacji.

Zadania inteligentnego systemu szlifowania trudnoobrabialnych stopów lotniczych (Tasks of the intelligent grinding system)

- Automatyczny dobór najodpowiedniejszej ściernicy i chłodziwa dla danego materiału obrabianego z wykorzystaniem systemów baz danych.
Automatic selection of the most suitable grinding wheel and coolant for different materials being ground based on data bases.
- Dobór parametrów technologicznych obróbki z wykorzystaniem systemów baz danych i opracowanych modeli procesu szlifowania.
Selection of grinding kinematic parameters with the use of data bases and grinding process models.
- Identyfikacja różnych stanów procesu szlifowania, tj. drgań samowzbudnych, przypałów, itp.
Identification of different states of grinding process, i.e. chatter vibrations, thermal damages, etc.
- Automatyczny wybór strategii algorytmów sterowania i optymalizacji procesu w zależności od konkretnego przypadku technologicznego.
Automatic selection of strategy of control algorithms and optimization of grinding process.
- Automatyczna detekcja i kompensacja zużycia narzędzia ściernego.
Automatic compensation of the wear of grinding wheel. Selection of grinding kinematic parameters with the use of data bases and grinding process models.
- Detekcja i kompensacja odkształceń geometrycznych przedmiotów obrabianych.
Compensation of elastic deformations of workpiece being ground.
- Bieżąca modyfikacja trajektorii ruchu ściernicy w funkcji kształtu i wymiaru przedmiotu.
On-line modification of grinding wheel motion trajectory as a function of shape and the size of the workpiece being ground.
- Automatyczna identyfikacja nieprawidłowo wykonanych lub uszkodzonych przedmiotów.
Automatic identification of incorrectly ground parts.
- Automatyczne, minimalne obciążenie ściernicy w celu usuwania powstających falistości na ściernicy.
Automatic conditioning of the grinding wheel so as to eliminate grinding wheel waviness errors.

Stanowisko do pomiaru kształtu szlifowanych detali

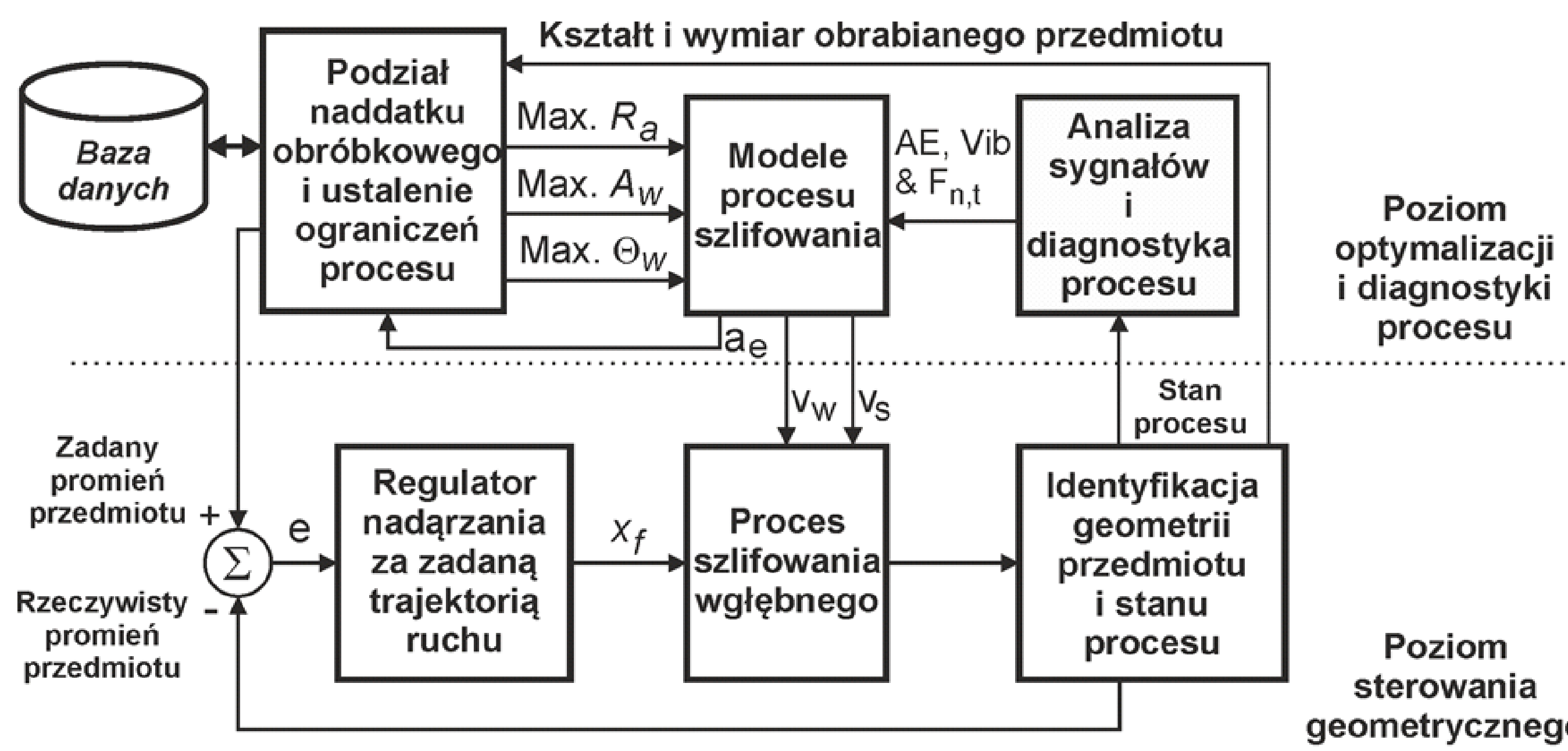
Przyrząd dokonuje pomiaru kształtu obracającego się w kłach wałka, profil 3D uzyskiwany jest w wyniku złożenia ruchu obrotowego detalu z przesunięciem liniowym czujnika laserowego wzdłuż osi obrotu detalu. W czasie pomiaru profil jest skanowany przy użyciu triangulacyjnego czujnika laserowego. Na rysunku 1 przedstawiono projekt stanowiska do pomiaru kształtu szlifowanych przedmiotów oraz strukturę systemu kontrolno-pomiarowego.



Rys. 1. Projekt stanowiska do pomiaru kształtu przedmiotu oraz struktura systemu pomiarowego.
Fig. 1. Structure of the teststand for workpiece geometry measurement and the structure of the measurement system.

Struktura docelowego inteligentnego systemu szlifowania

Ogólna struktura budowanego inteligentnego systemu szlifowania przedstawiona została na rysunku 1. Zadaniem poziomu sterowania optymalizującego jest ustalenie optymalnych parametrów kinematycznych szlifowania w fazie szlifowania zgrubnego i wykończeniowego oraz ich ewentualne korygowanie w wyniku zużycia się narzędzia. Wyznaczanie optymalnych parametrów kinematycznych szlifowania odbywa się z wykorzystaniem modelu procesu szlifowania wiążącego parametry kinematyczne szlifowania z parametrami wynikowymi szlifowania. Zadaniem poziomu sterowania geometrycznego jest usunięcie początkowego błędu kształtu obrabianego przedmiotu i nadadku obróbkowego w fazie obróbki zgrubnej i wykończeniowej w minimalnym czasie.



Rys. 2. Struktura Inteligentnego Systemu Szlifowania.
Fig. 2. Structure of the Intelligent Grinding System.

Kontynuacja badań doświadczalnych szlifowania stopów tytanu i niklu

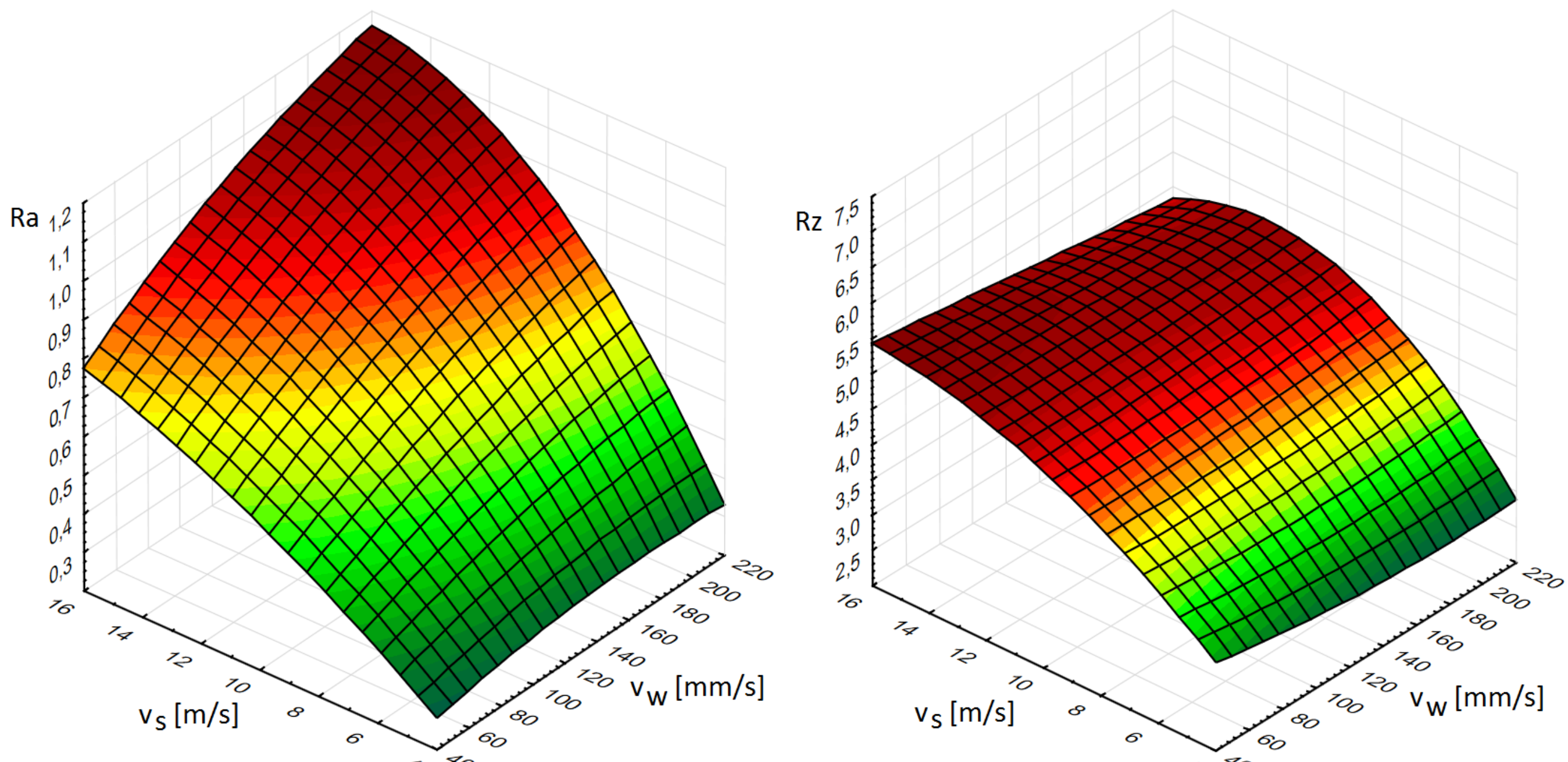
Badania zostały przeprowadzone dla różnych trudno-obrabialnych stopów lotniczych, między innymi stopu tytanu Ti3Al8V6Cr4Mo4Zr (Gr 19) i stopu Inconel. Badania doświadczalne prowadzono w celu ustalenia wpływu parametrów kinematycznych szlifowania na stan procesu i wybrane parametry wynikowe obrabianych przedmiotów. Zakres badań doświadczalnych obejmował różne wydajności objętościowe szlifowania Q_w poprzez zmiany prędkości obwodowej przedmiotu v_w dla stałej grubości warstwy skrawanej a_e . Badania przeprowadzono dla różnych prędkości skrawania v_s . Przykładowy zakres warunków obróbki dla stopu Inconel przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Przykładowe warunki obróbki dla stopu Inconel.

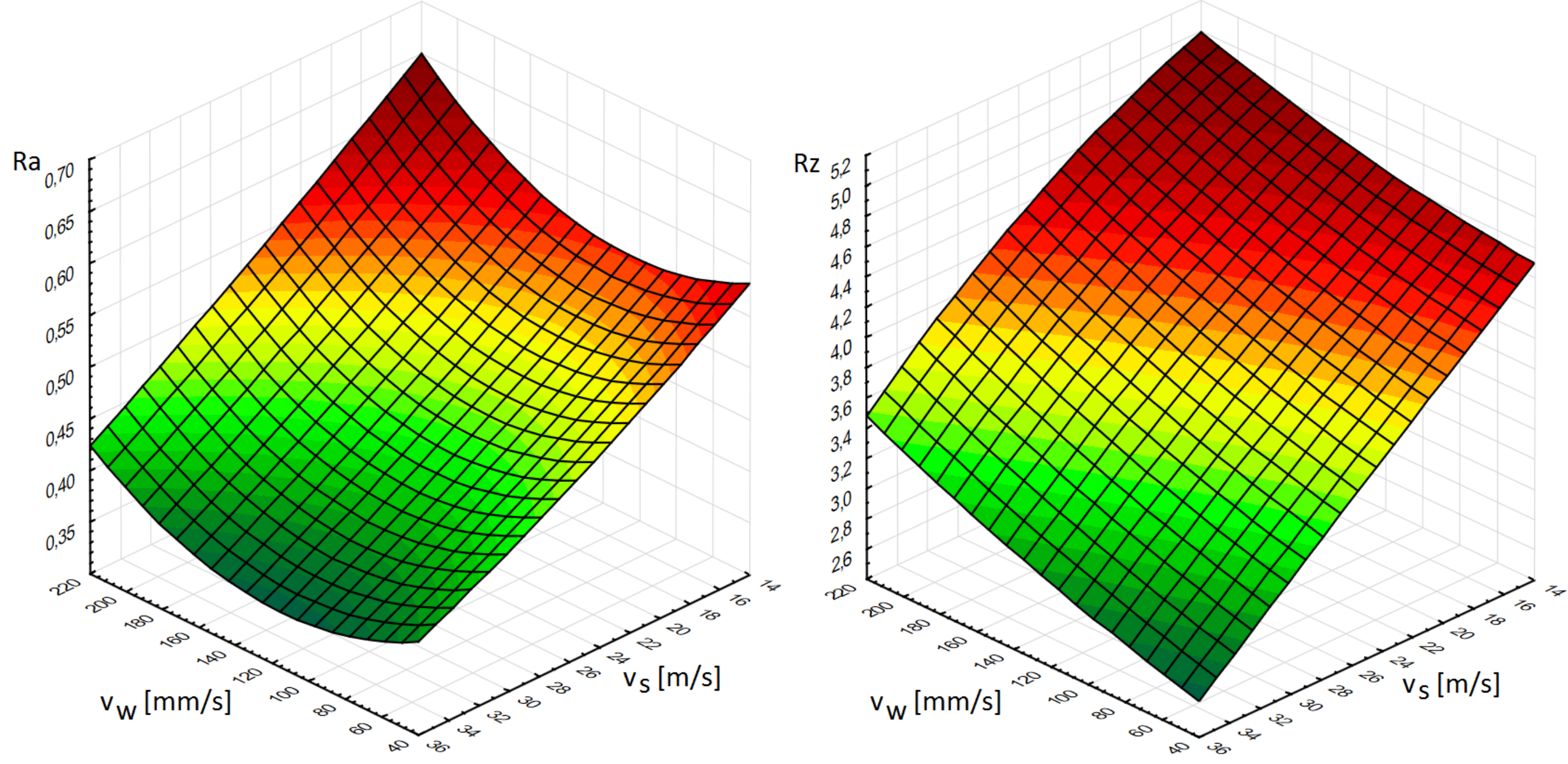
Warunki obróbki	Zakres wartości
Wydajność objętościowa szlifowania Q_w	0,3, 0,6, 1,2 mm ³ /mm·s
Prędkość skrawania v_s	15, 25 i 35 m/s
Prędkość obwodowa przedmiotu v_w	50, 100 i 200 mm/s
Grubość warstwy skrawanej a_e	2, 6 μm

Analiza wyników szlifowania stopów tytanu i niklu

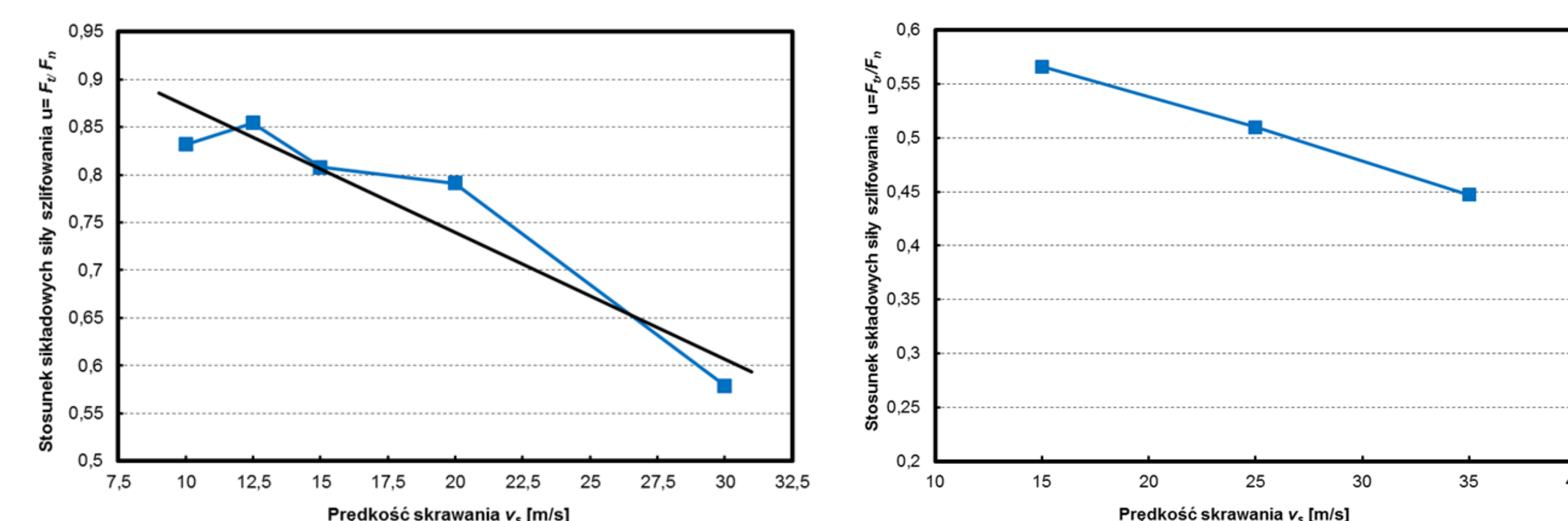
Podczas badań rejestrowano składowe siły szlifowania, drgania na kłach konika i wrzeciennika ściernicy oraz sygnał emisji akustycznej. Po każdej próbie szlifowania rejestrowano parametry chropowatości przedmiotu R_a i R_z . Zmiany parametrów chropowatości w funkcji prędkości skrawania v_s i prędkości obwodowej przedmiotu v_w dla stopu tytanu i stopu Inconel (ściernica z ziarnem mikrokrystalicznym 3HA60J08V) przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Z kolei na rysunku 5 przedstawiono zmiany stosunku składowej stycznej do składowej normalnej siły szlifowania w funkcji prędkości skrawania.



Rys. 3. Zmiany parametrów chropowatości przedmiotu R_a i R_z w funkcji prędkości skrawania v_s i obwodowej prędkości v_w dla stopu tytanu.
Fig. 3. Changes of workpiece roughness parameters R_a and R_z as a function of cutting speed v_s and workpiece peripheral speed v_w for titanium alloy.



Rys. 4. Zmiany parametrów chropowatości przedmiotu R_a i R_z w funkcji prędkości skrawania v_s i obwodowej prędkości v_w dla stopu Inconel.
Fig. 4. Changes of workpiece roughness parameters R_a and R_z as a function of cutting speed v_s and workpiece peripheral speed v_w for Inconel alloy.



Rys. 5. Zmiany stosunku składowej stycznej do normalnej siły szlifowania w funkcji prędkości skrawania v_s dla stopu tytanu i stopu Inconel.
Fig. 5. Changes of ratio of tangential to normal force components as a function of cutting speed v_s for titanium and Inconel alloys.

Wnioski Conclusions

- Opracowany inteligentny system szlifowania pozwala na znaczące skrócenie czasu szlifowania przy uzyskaniu wymaganej dokładności geometrycznej przedmiotu i parametrów warstwy wierzchniej przedmiotu.
- Zastosowanie ściernicy z ziarnem mikrokrystalicznym wydłuża okres trwałości ściernicy pomiędzy procesami kondycjonowania ściernicy.
- Developed intelligent grinding system allow for a significant reduction of grinding time while meeting required workpiece geometrical accuracy and parameters of workpiece surface layer.
- The use of grinding wheel with microcrystalline grain extends the wheel life.

Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation

- WSK "PZL-Rzeszów" SA - szlifowanie elementów cienkościennych wykonanych z trudnoobrabialnych stopów lotniczych.
- WSK "PZL-Kalisz" SA - szlifowanie pokrycia Metco 45VF-NS o składzie 25,5 Cr, 10,5%Ni, 7,5%W, 0,5%C, reszta Co, na średnicy zewnętrznej.



Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

Przeprowadzono rozmowy z przedstawicielami firm: P.P.U.H. BRYK WITOLD BRYK oraz ULTRATECH Sp. z o.o. celem określenia możliwości do implementacji rozwiązań wypracowanych w ramach niniejszego projektu. Nawiązano współpracę z WSK i dokonano wyboru przedmiotów, które zostaną użyte jako próbki w badaniach doświadczalnych. Celem współpracy jest wypracowanie i optymalizacja warunków obróbki w celu zapewnienia powtarzalnych parametrów jakościowych produkowanych elementów lotniczych.

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Zgłoszenia patentowe:

- System nadzorowania procesu szlifowania na szlifierce kłowej do wałków, zwłaszcza przedmiotów wykonanych z materiałów trudnoobrabialnych - P.408575
- Urządzenie do pomiaru topografii czynnej powierzchni ściernicy bezpośrednio na szlifierce - P.412064

Referaty:

- Lajmert P., Ostrowski D., Sikora M., Kruszyński B.: *Szlifowanie stopów tytanu na szlifierce kłowej do wałków*; Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej XXXVII.
- Sikora M., Lajmert P., Ostrowski D., Kruszyński B.: *Szlifowanie stopów niklu na szlifierce kłowej do wałków*; Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej XXXVII.
- Lajmert P., Kruszyński B., Sikora M., Ostrowski D.: *Diagnostyka procesu szlifowania kłowego wałków*; XV Krajowa VI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna METROLOGIA W TECHNIKACH WYTWARZANIA.
- Lajmert P., Ostrowski D., Sikora M., Kruszyński B.: *Stanowisko do badania procesu szlifowania kłowego wałków*; XV Krajowa VI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna METROLOGIA W TECHNIKACH WYTWARZANIA.
- Lajmert P., Kruszyński B., Sikora M., Ostrowski D.: *Application of exploratory data analysis methods for supervision of cylindrical plunge grinding process*; XXV Real and Virtual Manufacturing Karpacz 2014.
- Lajmert P., Kruszyński B., Sikora M., Wrąbel D., Ostrowski D.: *Application of experimental and numerical modal analysis to characterize dynamical properties of grinding machine*; XXV Real and Virtual Manufacturing Karpacz 2014.

Publikacje:

- Lajmert P., Ostrowski D., Sikora M., Kruszyński B.: *Szlifowanie stopów tytanu na szlifierce kłowej do wałków*; Mechanik, nr 8/9 2014, s. 245-248, ISSN: 0025-6552.
- Sikora M., Lajmert P., Ostrowski D., Kruszyński B.: *Szlifowanie stopów niklu na szlifierce kłowej do wałków*; Mechanik, nr 8/9 2014, s. 289-292, ISSN: 0025-6552.
- Lajmert P., Kruszyński B., Sikora M., Ostrowski D.: *Diagnostyka procesu szlifowania kłowego wałków*; Mechanik, nr 8/9 2014, s. 187-194, ISSN: 0025-6552.
- Lajmert P., Ostrowski D., Sikora M., Kruszyński B.: *Stanowisko do badania procesu szlifowania kłowego wałków*; Mechanik, nr 8/9 2014, s. 195-202, ISSN: 0025-6552.

Prace mgr, dr, hab.:

Prace magisterskie

- Sosnowski Daniel: *Badanie sił skrawania i chropowatości powierzchni podczas szlifowania kłowego stopu niklu*. Promotor: Prof. dr hab. inż. Bogdan Kruszyński.
- Wieteska Krzysztof: *Badanie sił skrawania i chropowatości powierzchni podczas szlifowania kłowego stopu tytanu*. Promotor: Prof. dr hab. inż. Bogdan Kruszyński.
- Szadkowski Radosław: *Szlifowanie materiałów i stopów trudnoobrabialnych*. Promotor: Prof. dr hab. inż. Bogdan Kruszyński.
- Świerczyński Jakub: *Nowe sposoby chłodzenia w procesie szlifowania i ich wpływ na koszty*. Promotor: dr hab. inż. Ryszard Wójcik
- Kaszewski Rafał: *Wpływ procesu szlifowania na odkształcenia przedmiotów*. Promotor: dr hab. inż. Ryszard Wójcik
- Goio Zamora: *Machinability of Superalloys*, Praca zrealizowana w International Faculty of Engineering, 2010 rok, Promotor: Prof. Bogdan Kruszyński
- Tomasz Niedźwiecki: *Automatyzacja procesu obciążania ściernicy na szlifierce kłowej do wałków ze sterowaniem wykorzystującym sterownik PLC*, Promotor: dr inż. Paweł Lajmert

Prace habilitacyjne

- Dr inż. Paweł Lajmert: *Inteligentny system kompensacji zakłóceń w procesie szlifowania kłowego wałków*, praca w trakcie realizacji.