

dr hab. inż. Janusz Porzycki, prof. PRz, e-mail: jpor@prz.edu.pl  
mgr inż. Roman Wdowik, e-mail: rwdowik@prz.edu.pl  
mgr inż. Marek Krok, e-mail: mkrok@prz.edu.pl  
Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza  
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa

## ZASTOSOWANIE WYBRANYCH NARZĘDZI CAX W BADANIACH PROCESU SZLIFOWANIA ZE WSPOMAGANIEM ULTRADŹWIĘKOWYM

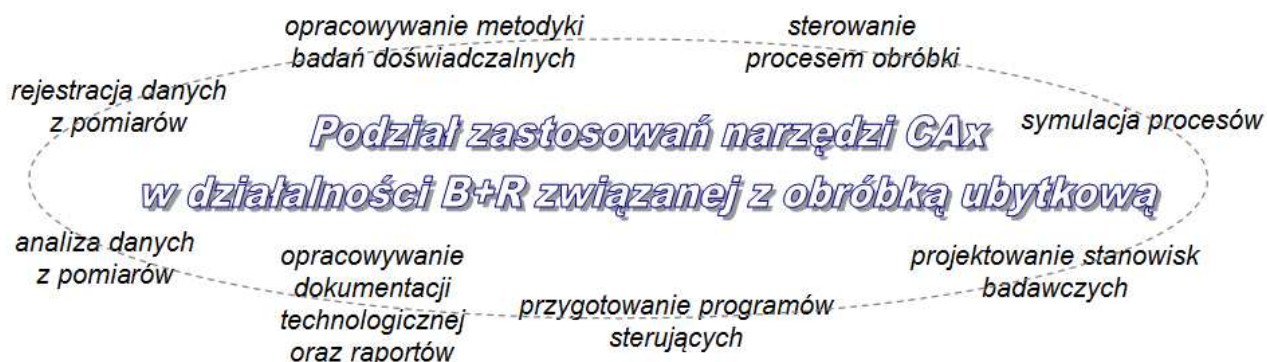
**Streszczenie:** Artykuł ukazuje możliwości w zakresie komputerowego wspomagania badań naukowych oraz prac rozwojowych na przykładzie hybrydowego procesu obróbki ubytkowej - szlifowania ze wspomaganie ultradźwiękowym (Ultrasonic Assisted Grinding - UAG). Opisano różne grupy narzędzi stosowanych w pracach badawczych. Przedstawione zostały przykłady zastosowania wybranych narzędzi CAX podczas prowadzonych prac badawczych.

## APPLICATIONS OF SELECTED CAX TOOLS FOR INVESTIGATIONS OF ULTRASONIC ASSISTED GRINDING

**Abstract:** The article presents the possibilities of computer aided research and development on hybrid machining process - Ultrasonic Assisted Grinding (UAG). Different groups of CAX tools for research are described. Applications of selected CAX tools applied to investigations are presented.

### 1. WPROWADZENIE

Powstawanie narzędzi CAX jest ściśle związane z intensywnym rozwojem w zakresie budowy komputerów oraz potrzebą szerokiego zastosowania ich możliwości. Systemy informatyczne wpisały się współcześnie w różne dziedziny życia. Przekłada się to również na funkcjonowanie gospodarki, która oparta jest głównie na działalności dużej ilości firm przemysłowych. Firmy te są obecnie jednym z podstawowych odbiorców narzędzi CAX, dążąc przede wszystkim do efektywnej realizacji swoich celów, gdzie należy zwrócić uwagę na poprawę komfortu i wydajności pracy oraz jakości powstających wyrobów i świadczonych usług. Nowe technologie informatyczne wpływają również bardzo mocno na funkcjonowanie jednostek naukowych, co przy odpowiednim ich zastosowaniu powinno przejawiać się w rosnącej jakości oraz wydajności prowadzonych prac B+R. Stosowanie narzędzi CAX podczas realizacji badań naukowych i prac rozwojowych może zatem przyspieszyć odkrycia naukowe i prace twórcze, a także kształtować ich zastosowanie w przyszłości (rys. 1).



Rys. 1. Zastosowanie narzędzi CAX w badaniach naukowych oraz pracach rozwojowych

CAX to „narzędzia”, dzięki którym możliwa jest realizacja określonych zadań opartych o technologie wspomagane komputerowo.

W celu właściwej identyfikacji narzędzia CAX stosowanego dla omawianych zadań badawczych przyjęto następujące założenia:

1. Jeżeli maszyna, urządzenie, przyrząd działa w oparciu o dedykowaną dla niego aplikację komputerową, to za narzędzie CAX możemy uważać parę przyrząd (urządzenie, maszyna) - oprogramowanie.
2. Jeśli do wykonania określonych prac naukowych można zastosować zamiennie różne programy komputerowe, to każdy z tych programów można uważać za osobne narzędzia CAX.

Właściwe zastosowanie narzędzi CAX wspomagających prace badawcze może być zrealizowane poprzez określoną procedurę ich doboru oraz odpowiednią obsługę. Możliwości laboratoriów jednostek naukowych są zróżnicowane, głównie pod względem rodzaju oraz ilości narzędzi CAX. Dla określonych warunków laboratoryjnych można podzielić je według różnych kryteriów. Przykładowo kryterium, gdzie brana jest pod uwagę cena dzieli je ogólnie na wersje bezpłatne, wersje testowe oraz wersje płatne. Z uwagi na przeznaczenie dzieli się je na grupy narzędzi: CAD, CAM, CAE, MRP, FEA, CNC i inne. Jednak najważniejsza jest metodyka doboru omawianych narzędzi do określonych zadań realizowanych w ramach badań naukowych lub prac rozwojowych.

Dużą nadzieję w zakresie prawidłowego doboru i użytkowania narzędzi CAX budzą tzw. systemy ekspertowe. Systemy ekspertowe są to programy komputerowe, które na podstawie szczegółowej wiedzy mogą wyciągnąć wnioski i samodzielnie podjąć decyzję, działając podobnie jak człowiek będący ekspertem w danej dziedzinie [1]. W odniesieniu do realizacji badań związanych z obróbką ubytkową katalogowane mogą być istniejące w jednostce naukowej narzędzia CAX wraz z ich możliwościami, ale również te, które znajdują się w laboratoriach innych jednostek naukowych. Dzięki opracowaniu odpowiedniego modułu wnioskowania systemu ekspertowego możliwe jest otrzymywanie odpowiedzi z systemu na stawiane przez badacza pytania o dobór i użytkowanie narzędzia CAX. W chwili obecnej uczelnie wyższe posiadają znaczną bazę narzędzi CAX. Często spotyka się sytuację, w której wiele różnych narzędzi z tej samej grupy można stosować do realizacji tych samych wyznaczonych przez badacza celów. W obszarze obróbki ubytkowej problem ten może dotyczyć przykładowo grup narzędzi CAD, CAM czy też CNC. Decyzja badacza o wyborze konkretnego narzędzia musi być zatem oparta przede wszystkim o analizę jego funkcji. Innym zagadnieniem jest właściwa obsługa wybranej aplikacji. W przypadku łączenia wielu różnych narzędzi podczas realizacji prac naukowych istotna jest znajomość tylko niektórych z funkcji danej aplikacji - tych, które będą niezbędne do efektywnej realizacji określonych zadań.

## **2. OBSZARY ZASTOSOWANIA NARZĘDZI CAX W BADANIACH PROCESU SZLIFOWANIA ZE WSPOMAGANIEM ULTRADŹWIĘKOWYM**

Do realizacji prac naukowych związanych z hybrydowym procesem obróbki ubytkowej, którym jest szlifowanie ze wspomaganie ultradźwiękowym zastosowane mogą być narzędzia CAX z różnych grup (rys. 2), głównie CAA, CAD, CAM, CAE, CNC. Narzędzia CAA umożliwiają między innymi przetwarzanie danych pomiarowych. Mogą być to programy zintegrowane z urządzeniami pomiarowymi lub też mogą być stosowane jako niezależne aplikacje komputerowe. Głównym celem zastosowania tych narzędzi jest poznanie, gromadzenie oraz przetwarzanie jakościowych oraz ilościowych wskaźników decydujących o przebiegu procesu obróbki. Narzędzia CAD podczas realizacji badań są

stosowane głównie do wykonywania modeli przedmiotów obrabianych, oprzyrządowania technologicznego oraz narzędzi ściernych, jak również do projektowania nowych stanowisk badawczych. Utworzone modele mogą być zastosowane w programach z innej grupy, np. CAM, które umożliwiają nie tylko opracowywanie programów obróbkowych ale również ich symulację oraz optymalizację. Narzędzia CAE mają zastosowanie do modelowania zjawisk zachodzących podczas realizacji procesu UAG. Jest to ważne zagadnienie badawcze z uwagi na trudności w obserwacji rzeczywistych zjawisk zachodzących w strefie skrawania podczas ruchu oscylacyjnego narzędzia lub przedmiotu z częstotliwością ultradźwiękową. Narzędzia CNC stosowane w badaniach procesu UAG to obrabiarki sterowane numerycznie o określonych możliwościach technologicznych wynikających między innymi z zastosowania układu wzbudzania oscylacji ultradźwiękowych. Możliwości technologiczne maszyny określają jej przydatność do wykonania ściśle określonych zabiegów obróbkowych.

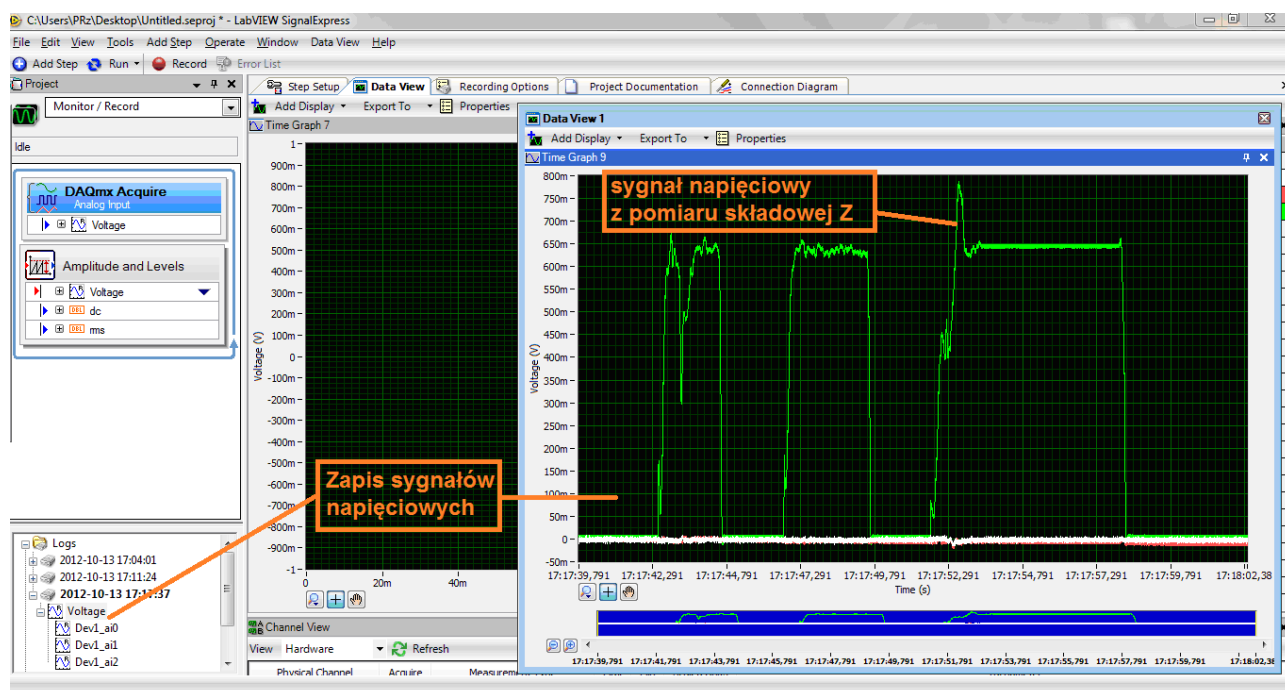


Rys. 2. Wybrane grupy narzędzi CAx wspomagających badania procesu UAG: a) narzędzia CAA (*Computer Aided Analysis*): komputerowe wspomaganie analiz, b) narzędzia CAD (*Computer Aided Design*): komputerowe wspomaganie projektowania oprzyrządowania, narzędzi ściernych oraz przedmiotów obrabianych, c) obrabiarki sterowane numerycznie CNC (*Computer Numerical Control*): realizacja procesu obróbki oraz pomiaru narzędzi i przedmiotów obrabianych, d) narzędzia CAM (*Computer Aided Manufacturing*): automatyczne opracowywanie programów sterujących, symulacja i optymalizacja obróbki

## 2.1. ZASTOSOWANIE NARZĘDZI CAA W BADANIACH PROCESU UAG

Podczas realizacji badań istotne jest odpowiednie korzystanie z możliwości oprogramowania do przetwarzania danych pomiarowych. Takie możliwości oferują narzędzia CAA, których wybór uzależniony jest od rodzaju wykonywanego pomiaru oraz istniejących funkcji (wymaganych przez użytkownika) analizy danych. W badaniach procesu UAG znajduje obecnie zastosowanie oprogramowanie do analizy sygnałów napięciowych z pomiarów składowych siły szlifowania, dokładności wymiarów i kształtu przedmiotów obrabianych, zużycia ściernic, struktury powierzchni, właściwości badanych próbek oraz oprogramowanie do diagnostyki obrabiarek i samego procesu UAG.

Pomiar składowych siły szlifowania może odbywać się przez zastosowanie właściwego ze względu na warunki pomiaru siłomierza, wzmacniacza sygnału, karty pomiarowej oraz oprogramowania, które umożliwi zarejestrowanie sygnału oraz jego analizę. Obecnie wykorzystywany jest do badań siłomierz KISTLER 9256C2 oraz oprogramowanie CAA (LabVIEW SignalExpress), które pochodzi z pakietu LabVIEW (rys. 3). Składowe siły szlifowania rejestrowane są na podstawie analizy sygnałów napięciowych z czujników pomiarowych z uwzględnieniem wzorcowania siłomierza oraz ograniczenia wpływu zakłóceń zewnętrznych na wyniki pomiaru. Dane uzyskane z pomiarów mogą być również przetwarzane w innych aplikacjach komputerowych.



Rys. 3. Okno aplikacji LabVIEW SignalExpress (rejestrowanie trzech składowych siły szlifowania)

W zakresie pomiarów zużycia narzędzi ściernych zastosowanie mają pomiary laserowe profilometrem 3D TALYSCAN 150 firmy Taylor Hobson (rys. 4) oraz programy TalyMap Expert i Mountains Map Universal. Opracowano także pomiar zużycia polegający na rejestrowaniu profilu ściernicy przez zastosowanie oprogramowania PARLEC PARLEVISION PGC PLUS 6 ustawiaika sterowanego numerycznie z późniejszą analizą jakościową (rodzaj zużycia) oraz ilościową (objętość zeszlifowanego materiału ściernicy) w systemach CAD. Jest to możliwe dzięki istnieniu funkcji zapisu utworzonego automatycznie profilu narzędzia w formacie dxf. Oprogramowanie nowoczesnych

ustawiaków narzędziowych posiada również funkcje tworzenia trójwymiarowych modeli mierzonych narzędzi, co będzie analizowane w kolejnych etapach prac badawczych.



Rys. 4. Laserowy pomiar zużycia powierzchni wewnętrznej ściernicy z zastosowaniem profilometru 3D TALYSCAN 150 firmy Taylor Hobson i programów TalyMap Expert i Mountains Map Universal



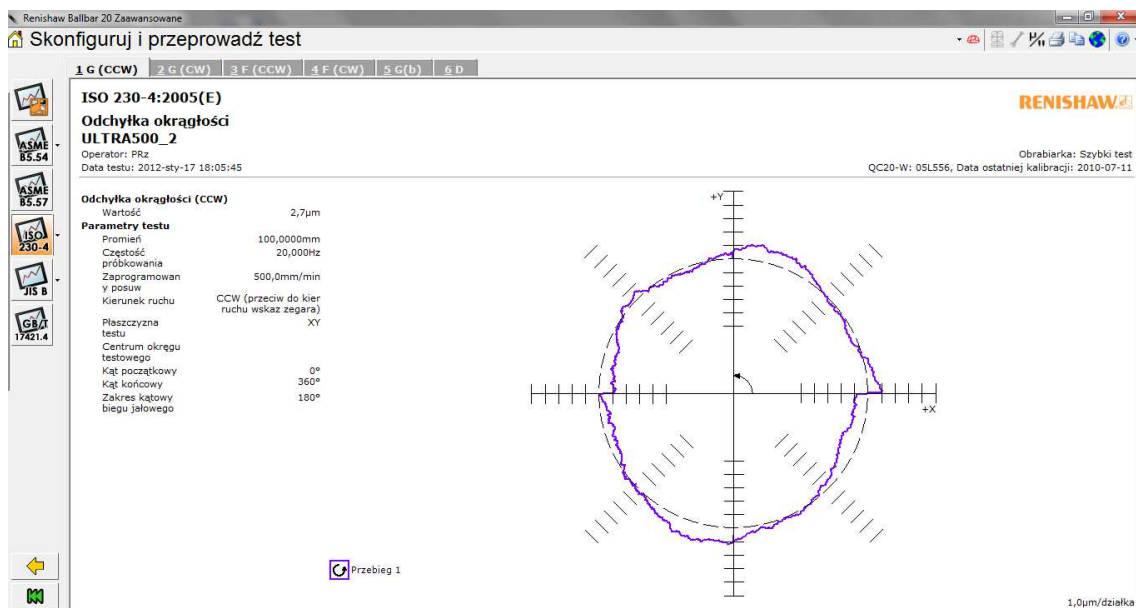
Rys. 5. Analiza profilu zewnętrznego ściernicy z zastosowaniem ustawiaaka sterowanego numerycznie (program PARLEC PARLEVISION PGC PLUS 6)

Istnieje również możliwość analizy zużycia przez zastosowanie programów dołączonych do mikroskopów optycznych (np. przestrzenna analiza obrazu 3D w oprogramowaniu mikroskopu InfiniteFocus Real 3D Alicona przedstawionym na rys. 6). Oprogramowanie mikroskopów optycznych ma również inne zastosowania, między innymi, może być przeznaczone do określania parametrów ruchu oscylacyjnego narzędzia (np. amplitudy oscylacji ściernicy) oraz do analizy śladów ziaren ściernych.

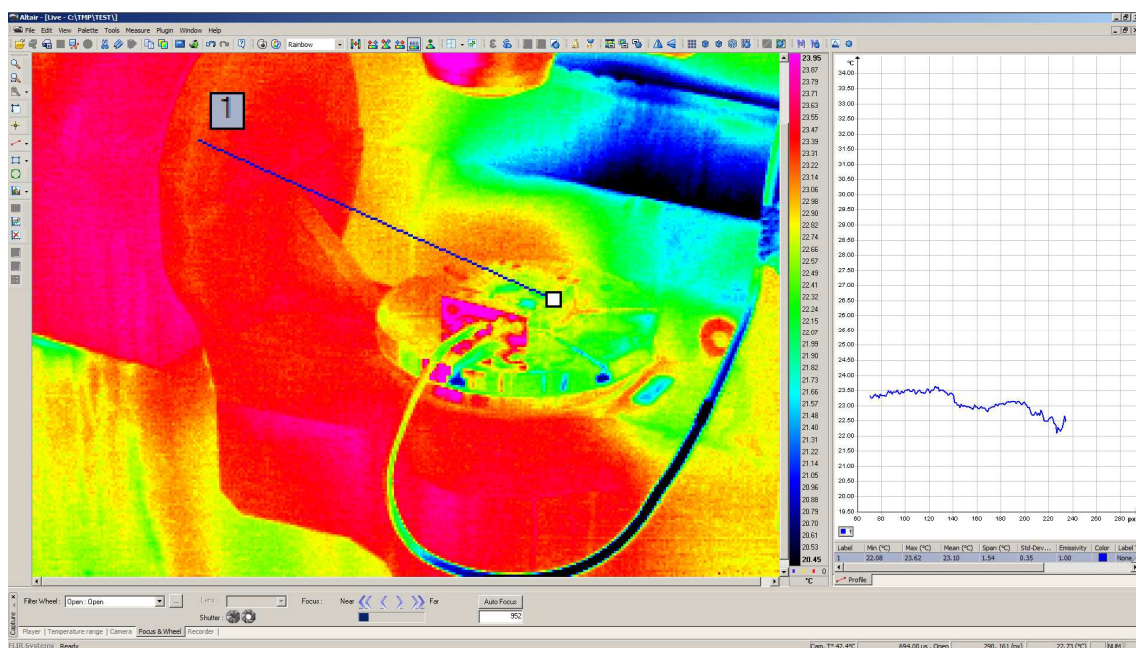


Rys. 6. Badanie amplitudy oscylacji ściernicy z zastosowaniem analizy obrazu śladów ziaren ściernych na przedmiocie wykonanym ze stali (narzędzia do analizy obrazu oprogramowania mikroskopu InfiniteFocus Real 3D Alicona)

W obszarze oprogramowania diagnostycznego stosowanego do badań procesu UAG oraz geometrii i dynamiki obrabiarek można wskazać aplikację urządzenia Ballbar QC20-W (Renishaw) przeznaczoną do analizy geometrii oraz dynamiki obrabiarek sterowanych numerycznie. Na rys. 7 przedstawiono przykładową zakładkę aplikacji obrazującą wynik pomiaru odchyłki okrągłości na średnicy 200 mm urządzeniem Ballbar w płaszczyźnie interpolacji G17 z prędkością posuwu 500 mm/min w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara (CCW). Inną aplikacją jest oprogramowanie (Altair) dołączone do kamery termowizyjnej (rys. 8) umożliwiające wykrywanie źródeł promieniowania cieplnego i analizę jego wpływu na proces obróbki. Wyniki uzyskane z pomiarów urządzeniami diagnostycznymi mogą być najczęściej przetwarzane w celu tworzenia tabel, raportów, itp. Wyniki pomiarów takimi urządzeniami powinny być uwzględniane w analizie wyników badania procesu.



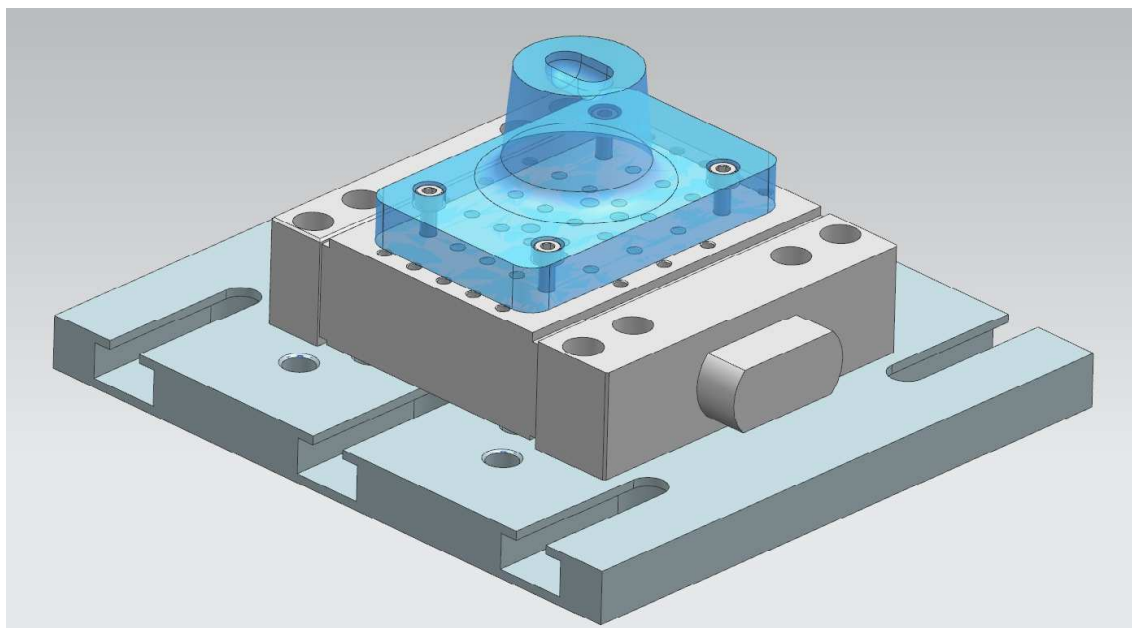
Rys. 7. Analiza geometrii oraz dynamiki obrabiarki sterowanej numerycznie do realizacji procesu szlifowania ze wspomaganie ultradźwiękowe z zastosowaniem oprogramowania urządzenia Ballbar QC20-W (Renishaw)



Rys. 8. Analiza temperatury korpusu stołu obrabiarki sterowanej numerycznie, oprzyrządowania oraz siłomierza z zastosowaniem oprogramowania Altair dołączonego do kamery termowizyjnej

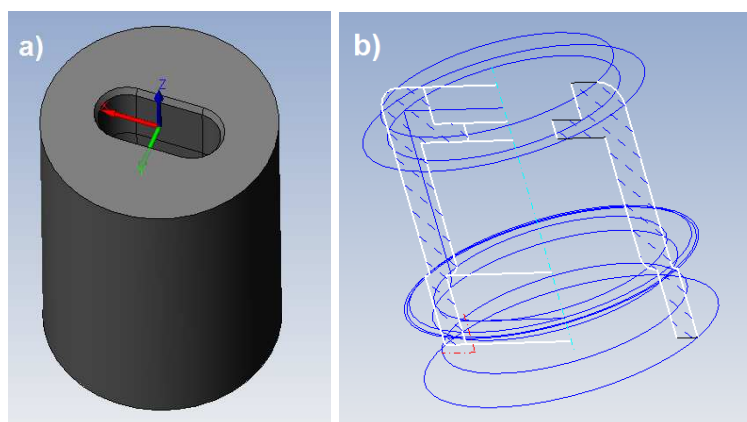
## 2.2. ZASTOSOWANIE NARZĘDZI CAD W BADANIACH PROCESU UAG

Systemy CAD mają szerokie zastosowanie podczas projektowania oprzyrządowania technologicznego, w tym dla potrzeb prac badawczych oraz do tworzenia modeli próbek, przedmiotów i narzędzi ściernych. Ich zastosowanie podczas badań nie ogranicza się jednak do wymienionych wyżej przykładów. Mogą być również stosowane do analizy geometrii przedmiotów. Na rys. 9 przedstawiono złożenie wykonane w programie NX 8 składające się ze stołu do mocowania siłomierza Kistler i próbek poddawanych obróbce, siłomierza oraz przedmiotu obrabianego.



Rys. 9. Złożenie modeli bryłowych stołu, siłomierza oraz przedmiotu obrabianego wykonane w programie NX 8 (Siemens)

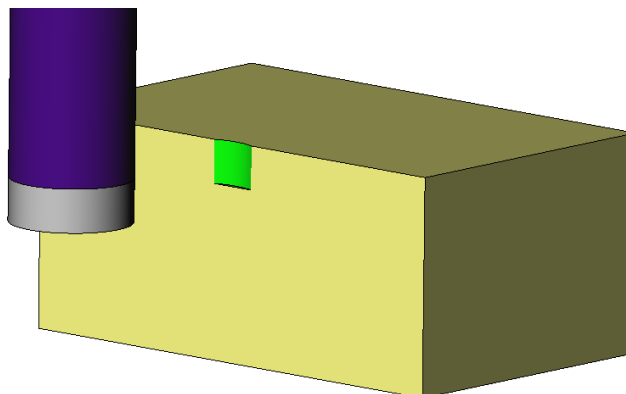
Rys. 10 przedstawia model przedmiotu wykonany z ceramiki technicznej oraz model narzędzia ściernego z powłoką diamentową nakładaną galwanicznie.



Rys. 10. Modelowanie bryłowe przedmiotu obrabianego wykonanego z ceramiki technicznej (a) oraz narzędzia ściernego z powłoką diamentową nakładaną galwanicznie (b)







Rys. 13. Symulacja w systemie CAM zarysowań przedmiotu obrabianego stosowanych do pomiaru amplitudy oscylacji ściernicy

## 2.4. ZASTOSOWANIE NARZĘDZI CNC ORAZ PARAMETRYZACJA PROGRAMÓW STERUJĄCYCH STOSOWANYCH W BADANIACH PROCESU UAG

W badaniach procesu UAG zastosowana jest obrabiarka sterowana numerycznie Ultrasonic 20 linear z układem sterowania Sinumerik 840D (rys. 14). Programowanie obrabiarki możliwe jest w oparciu o znormalizowany kod DIN/ISO. W zakresie metod programowania należy wskazać proste programowanie oparte na zastosowaniu cykli stałych układu sterowania i definiowaniu stałych wartości słów języka programowania, programowanie oparte na zmiennych i instrukcjach strukturalnych języka wysokiego poziomu oraz programowanie automatyczne w systemach CAD/CAM. Maszyna, na której wykonywane są badania nie jest wyposażona w nakładkę do programowania warsztatowego. Proces programowania może być jednak upraszczany przez dialogowe programowanie cykli obróbkowych oraz pomiarowych. Z uwagi na potrzebę elastycznego programowania obrabiarki w odniesieniu do zmiennych wartości słów języka programowania szczególne zastosowanie znajduje programowanie wysokiego poziomu. Konstrukcja programu sterującego musi być dostosowana do zmiennych wymiarów przedmiotów obrabianych, zmiennych parametrów technologicznych, narzędzi, itp., które określane są jako dane wejściowe procesu UAG. Programowanie wysokiego poziomu znajduje zastosowanie podczas badań obróbki kształtowej, gdzie w elastyczny sposób może być programowana obróbka sparametryzowanej geometrii rowków, kieszeni, powierzchni sferycznych, powierzchni śrubowych, itp. oraz podczas opracowywania programów sterujących dla głowic pomiarowych (rys. 14 b, c).

Wykonywanie badań w oparciu o sparametryzowane programy sterujące związane jest zatem z elastycznym dostosowywaniem parametrów nastawnych procesu do potrzeb wykonywanych pomiarów wielkości wyjściowych.

Takie podejście do programowania obrabiarki sterowanej numerycznie prowadzi głównie do skrócenia czasu prowadzenia badań przez skrócenie czasu potrzebnego na opracowywanie programów sterujących. Zadawanie wielu zmiennych danych wejściowych procesu odbywa się przez definiowanie ich wartości wymaganych dla przeprowadzenia badań.



Rys. 14. Stanowisko badawcze Ultrasonic 20 linear: widok ogólny oraz układ osi sterowanych (a), zastosowanie głowicy do pomiaru przedmiotu (b), zastosowanie bramki laserowej do badań zużycia ściernic (c)

### 3. WNIOSKI

Główne efekty zastosowania narzędzi CAx w badaniach hybrydowego procesu obróbki ubytkowej – szlifowania ze wspomaganiem ultradźwiękowym to skrócenie czasu wykonywania pomiarów, zapobieganie błędom, symulacja oraz wizualizacja pomiarów. Szczególną rolę odgrywa sterowanie numeryczne, zapewniając większą powtarzalność wykonywanych pomiarów oraz upraszczając ich przebieg. Przewiduje się potrzebę opracowania szczegółowej metodyki badań procesów obróbkowych, dla których stosowane są narzędzia CAx z różnych grup.

### LITERATURA

[1] Honczarenko J.: Obrabiarki sterowane numerycznie. WNT, Warszawa 2008

[2] <http://cn.dmg.com/en,plant,sauer>

[3] <http://support.automation.siemens.com>

[4] <http://www.kistler.com>

[5] <http://www.ni.com>