

Dr hab. inż. Jan Burek, e-mail: jburek@prz.edu.pl
Mgr inż. Marcin Płodzien, e-mail: plodzien@prz.edu.pl
Mgr inż. Paweł Turek, e-mail: pturek@prz.edu.pl
Mgr inż. Michał Gdula, e-mail: gdułam@prz.edu.pl
Mgr inż. Karol Żurawski, e-mail: zurawski@prz.edu.pl
Politechnika Rzeszowska

WIELOOSIOWE KSZTAŁTOWANIE STOŻKOWYCH KÓŁ ZĘBATYCH W SYSTEMIE NX

Streszczenie: W pracy przedstawiono programowanie automatyczne stożkowych kół zębatach z wykorzystaniem systemu CAM NX w wersji 8.5. Do programowania obróbki posłużono się modulem do wirników, w którym użyto typowych cykli obróbkowych dla tego modułu. Wykonano część i sprawdzono dokładność wykonanego koła stożkowego za pomocą 7-osioowego ramienia pomiarowego MCA2.

Słowa kluczowe: obróbka wieloosiowa, koła stożkowe, programowanie automatyczne.

MULTIAXIS MACHINING BEVAL GEARS IN NX SYSTEM.

Abstract: This paper presents the automatic programming bevel gears using NX CAM system, version 8.5. The treatment program was used for multi blade module that uses standard machining cycles for this module. Bevel gear have been made and checked for accuracy on 7-axis measuring arm MCA2.

Key words: multiaxis machining, bevel gears, automatic programming.

1. WPROWADZENIE

Przenoszenie prędkości obrotowej, mocy i momentu możliwe jest poprzez stosowanie różnego rodzaju przekładni, do których zalicza się:

- przekładnie cierne,
- przekładnie pasowe,
- przekładnie łańcuchowe,
- przekładnie zębate.

Dużą grupę przekładni stanowią przekładnie zębate (rys.1.) Do głównych zalet przekładni zębatach zalicza się:

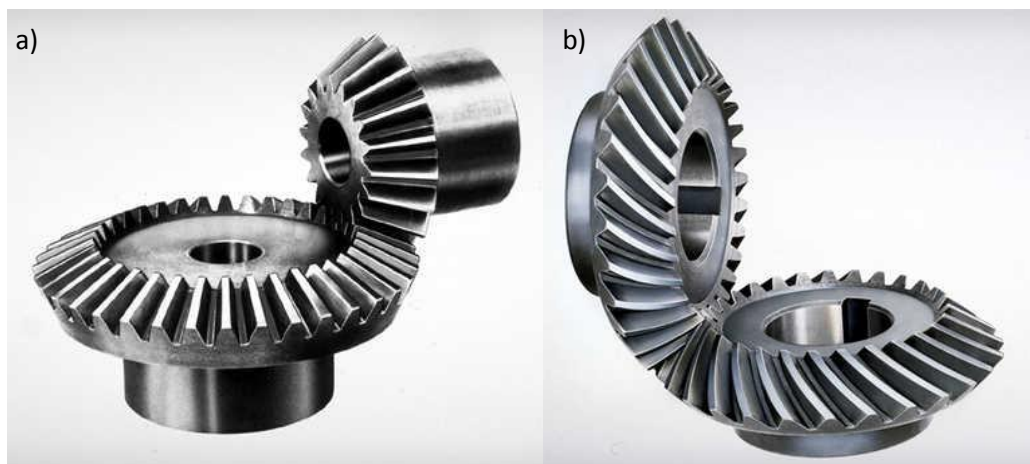
- najwyższa sprawność (0,98 – 0,99),
- duża niezawodność,
- małe zużycie,
- duża zwartość,
- możliwość przenoszenia dużych mocy.



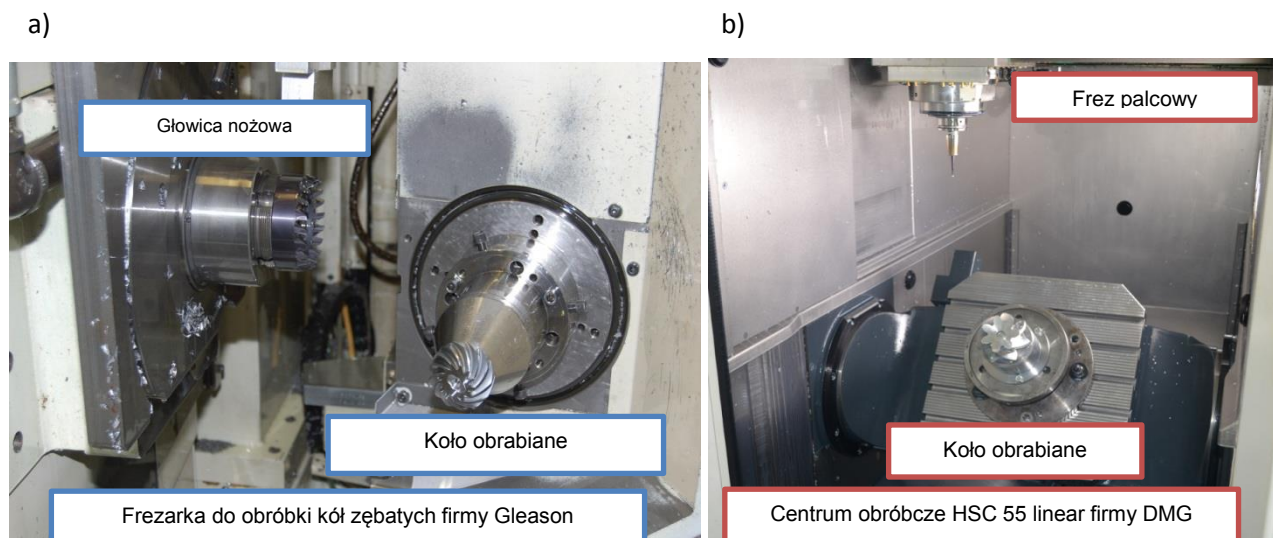
Rys. 1. Rodzaje przekładni zębatach

Projektowanie, analiza i wytwarzanie stożkowych kół zębatach jest tematem aktualnym i stale rozwijanym w wielu pracach badawczych. Zakres stosowania przekładni stożkowych jest bardzo szeroki między innymi w przemyśle rolniczym, samochodowym czy też w branży lotniczej oraz kosmicznej [1]. Takie zainteresowanie przekładniami stożkowymi wynika z unikalnych cech charakterystycznych. Do głównych cech charakterystycznych przekładni stożkowych można zaliczyć[2]:

- przenoszenie mocy i momentu pod dowolnym kątem w zakresie $0 < \Sigma < 180$,
- przenoszenie dużych obciążeń statycznych,
- przekładnie stożkowe łukowe i Zerols cechują się cichobieżnością,
- w przekładniach łukowe i Zerols współpracuje większa liczba zębów,
- przełożenia $i = 1 \div 6$.



Rys. 2. Przekładnie stożkowe: a) o prostej linii zęba, b) o łukowej linii zęba.



Rys 3. Widok przestrzeni obróbczych: a) obrabiarki dedykowanej (specjalnej), b) wieloosiowego centrum obróbczego.

Wytwarzanie kół zębatach może odbywać się na obrabiarkach dedykowanych (specjalnych) lub na wieloosiowych centrach obróbkowych. Na rys. 3 przedstawiono widok przestrzeni obróbkowych w/w typów obrabiarek. Kształtowanie koła stożkowego na obrabiarce dedykowanej odbywa się za pomocą specjalnych głowic nożowych. Obróbka taka charakteryzuje się dużą wydajnością, skróceniem czasu głównego oraz wysoką dokładnością i powtarzalnością. Obrabiarki dedykowane cechują się sztywną budową oraz znajdują zastosowanie w produkcji seryjnej oraz masowej. W produkcji mało seryjnej bądź

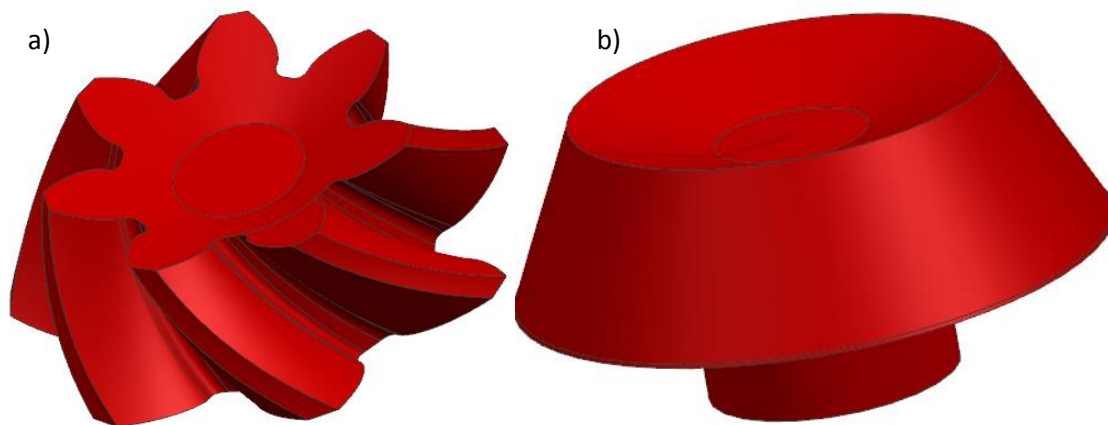
jednostkowej stosowanie w/w obrabiarek jest nieekonomiczne ze względu na wysoki koszt zakupu obrabiarki oraz narzędzi obróbkowych. Dlatego też w tym przypadku do wytwarzania stożkowych kół zębatach można wykorzystać wieloosiowe centra obróbkowe (Rys. 3b). [2]

W 5-osiowej obróbce kół zębatach narzędziem obróbkowym są narzędzia standardowe, np. wszelkiego rodzaju frezy palcowe, kuliste, stożkowe, główce frezowe, które cechuje przede wszystkim niższy koszt zakupu niż dedykowanych głowic nożowych. Czas obróbki na wieloosiowych obrabiarkach jest jednak znacznie dłuższy i uzależniony w głównej mierze od dokładności wykonywanego wyrobu. Ponadto 5-osiowe centra obróbkowe oparte są na typowych układach sterowania numerycznego np. Sinumerik, Heidenhain zawierających specjalne cykle do obróbki powierzchni złożonych umożliwiające dokładne kształtowanie wyrobów.[1,2]

Programowanie wieloosiowych obrabiarek odbywa się głównie z użyciem systemów CAM (Computer Aided Manufacturing), które bazują na modelu wirtualnym wytwarzanego wyrobu. W niniejszym artykule przedstawione zostało zagadnienie programowania automatycznego i wytwarzania stożkowych kół zębatach na wieloosiowym centrum obróbkowym HSC 55 Linear firmy DMG.

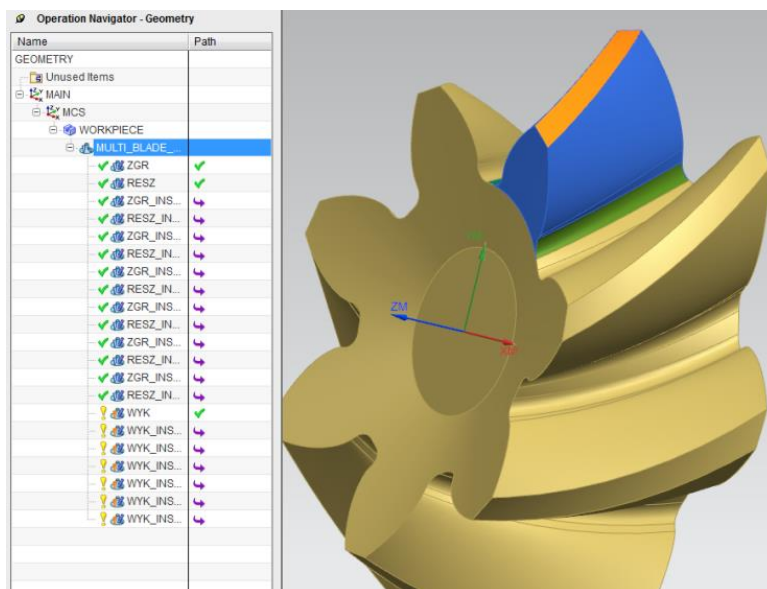
2. AUTOMATYCZNE PROGRAMOWANIE OBRÓBKİ KÓŁ STOŻKOWYCH W SYSTEMIE NX.

Wieloosiowe centra obróbkowe programuje się głównie w trybie automatycznym. Programowanie tego typu charakteryzuje się generowaniem toru ruchu narzędzia (ścieżek narzędzia) z uwzględnieniem modelu półfabrykatu i modelu wyrobu. Na rys. 4 pokazano model koła stożkowego oraz jego półfabrykatu. Dla prawidłowego generowania ścieżki określono układ współrzędnych oraz strukturę geometryczną w systemie NX. Na rys. 5 pokazano strukturę geometryczną użytą do programowania obróbki oraz przyjęty układ obróbkowy.

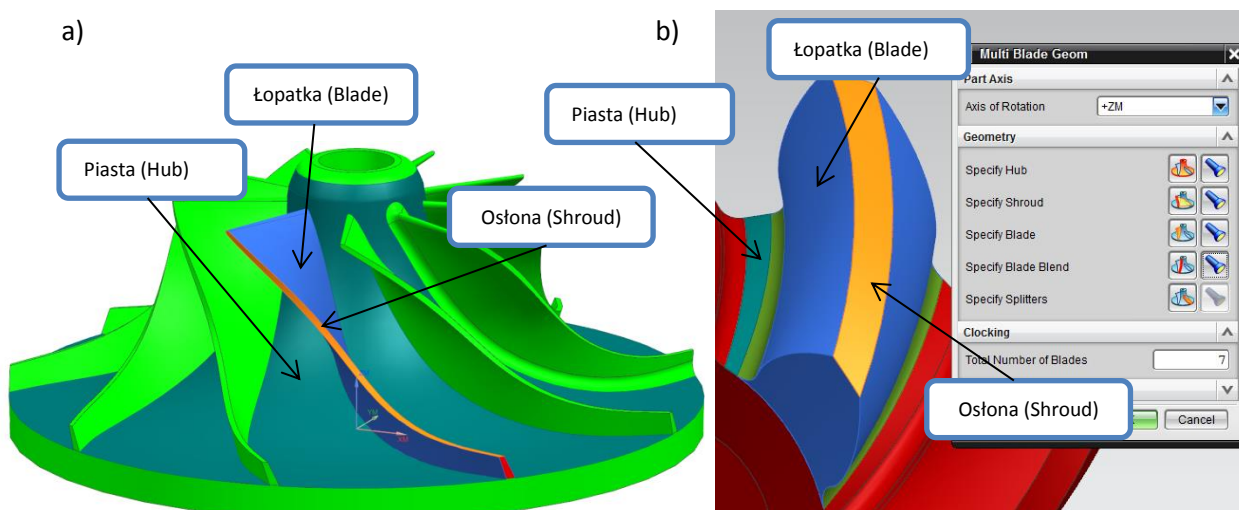


Rys. 4. Model wirtualny: a) koła stożkowego, b) półfabrykatu.

W celu prawidłowego realizowania obróbki zdefiniowano strukturę geometryczną składającą się z układów **MAIN** oraz **MCS**. Pierwszy z nich jest to układ niezbędny do realizowania symulacji wirtualnej kodu maszynowego, drugi z nich to układ lokalny, względem którego generowany będzie i przetwarzany tor ruchu narzędzia. Dodatkowo przyjęto geometrię **WORKPIECE** oraz **MULTI BLADE GEOM**. W pierwszym obiekcie wskazano geometrię półfabrykatu oraz wyrobu pokazaną na rys. 4, natomiast w drugim obiekcie określono informacje, które definiuje się dla geometrii wirnika. Na rys. 5 wyszczególniono użyte cechy charakterystyczne dla wirnika w odniesieniu do koła stożkowego.



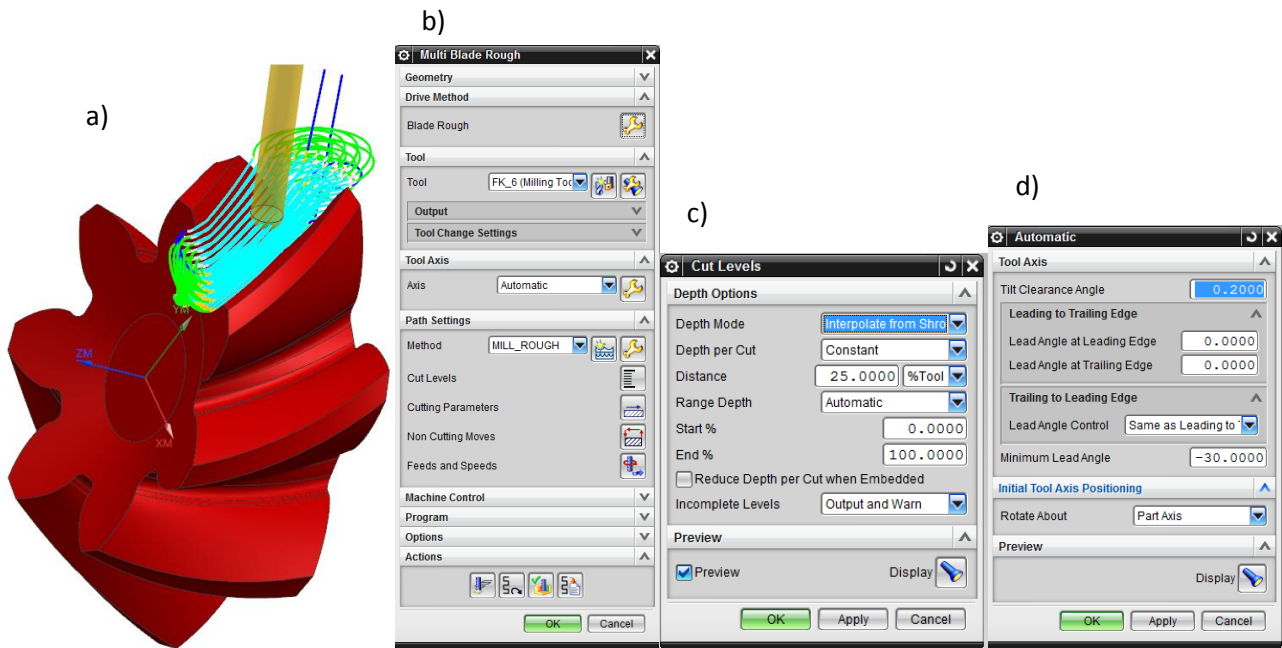
Rys. 5. Widok modelu oraz struktura geometryczna w systemie NX.



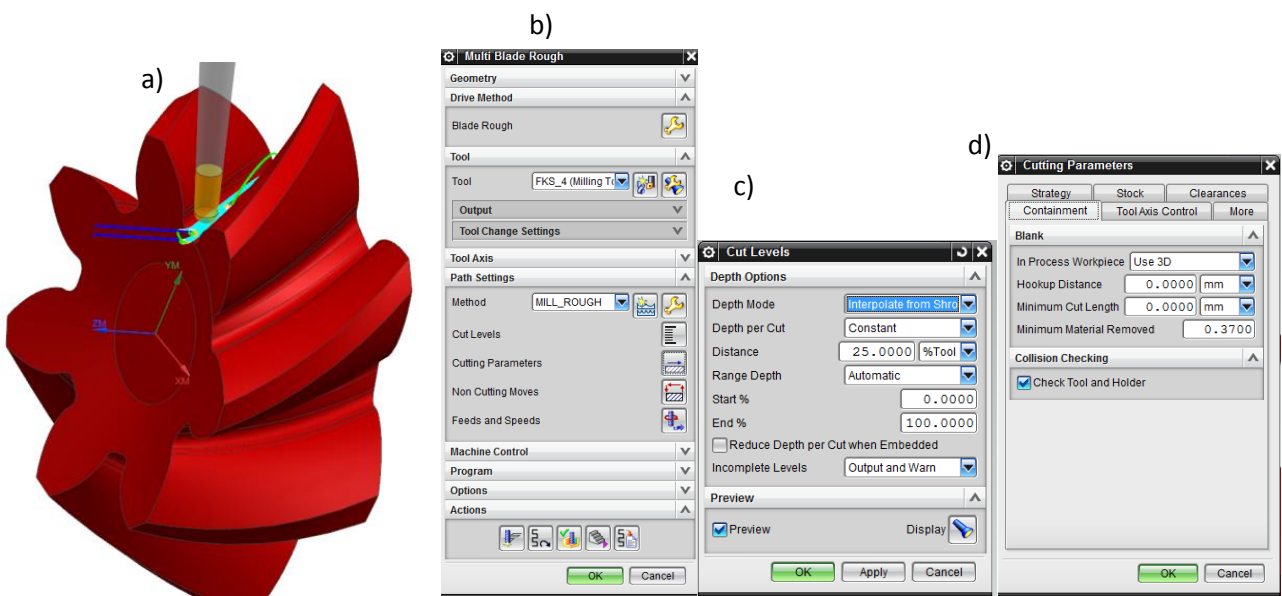
Rys. 5. Definicja geometrii: a) wirnika, b) koła stożkowego

Po zdefiniowaniu struktury geometrycznej przystąpiono do programowania ścieżek narzędzia. Określono w systemie narzędzia obróbkowe. Jako frez zgrubny przyjęto frez kulisty o wymiarze średnicy $d = 6\text{mm}$ oraz do obróbki profilowej linii oraz zarysu zęba frez stożkowy o średnicy $d = 4\text{mm}$. Do programowania użyto cykli obróbkowych do obróbki wirników. Zastosowanie cykli pozwoliło na zaprogramowanie płynnej 5 - osiowej symultanicznej obróbki zgrubnej oraz wykończeniowej. Do realizowania obróbki zgrubnej użyto cyklu **Multi Blade Rough**, obróbkę wygenerowano dla frezu kulistego o średnicy $d=6$. W wyniku obróbki pozostał równy naddatek na kolejną operację. Na rys. 6 pokazano wygenerowaną ścieżkę oraz opcje do definicji cyklu obróbkowego.

Ponieważ użyty frez kulisty w cyklu **Multi Blade Rough** nie był w stanie usunąć całego materiału z wrębu między zębnego zaprogramowano cykl **Multi Blade Rough** z użyciem frezu stożkowego $d = 4\text{mm}$ realizując tzw. obróbkę resztek. Na rys. 7 przedstawiono wygenerowaną ścieżkę resztek materiału oraz główne ustawienia tego cyklu.



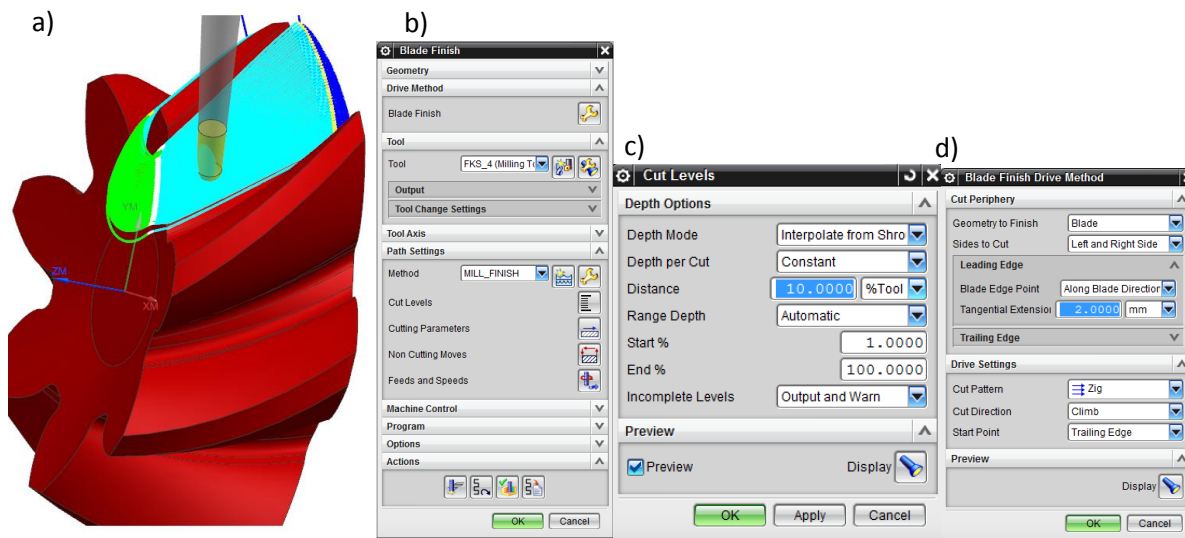
Rys. 6. Cykl obróbki zgrubnej: a) wygenerowana ścieżka narzędzia, b) okno dialogowe cyklu, c) okno podziału na głębokości, d) okno kontroli osi narzędzia.



Rys. 7. Cykl obróbki resztek: a) wygenerowana ścieżka narzędzia, b) okno dialogowe cyklu, c) okno podziału na głębokości, d) ustawienia dodatkowe dla resztek.

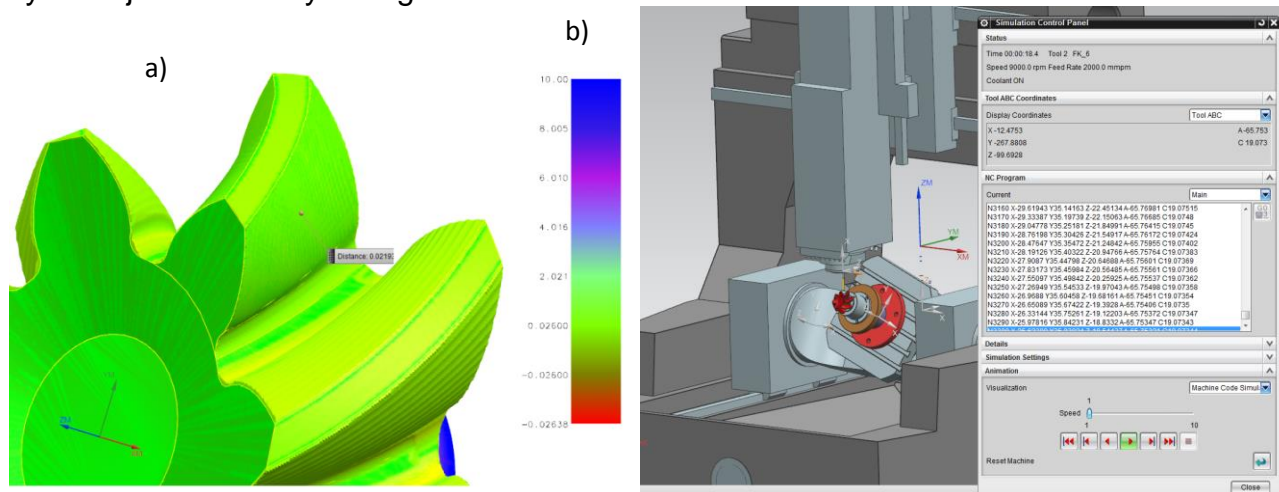
Obróbkę wykończeniową linii i zarysu zęba wykonano za pomocą cyklu **Multi blade finish**. Do generowania ścieżek narzędzia użyto frez stożkowy $d = 4$ mm. Na rys. 8 pokazano widok wygenerowanej ścieżki narzędzia oraz parametry cyklu.

Wymienione wszystkie operacje wykonane zostały dla pojedynczego wrębu i zęba koła stożkowego. W celu wykonania wszystkich zębów i wrębów należy powtórzyć wszystkie cykle dokonując transformacji o kąt podziału między kolejnymi zębami, który jest równy $360^\circ/z$, gdzie z – liczba zębów koła obrabianego.



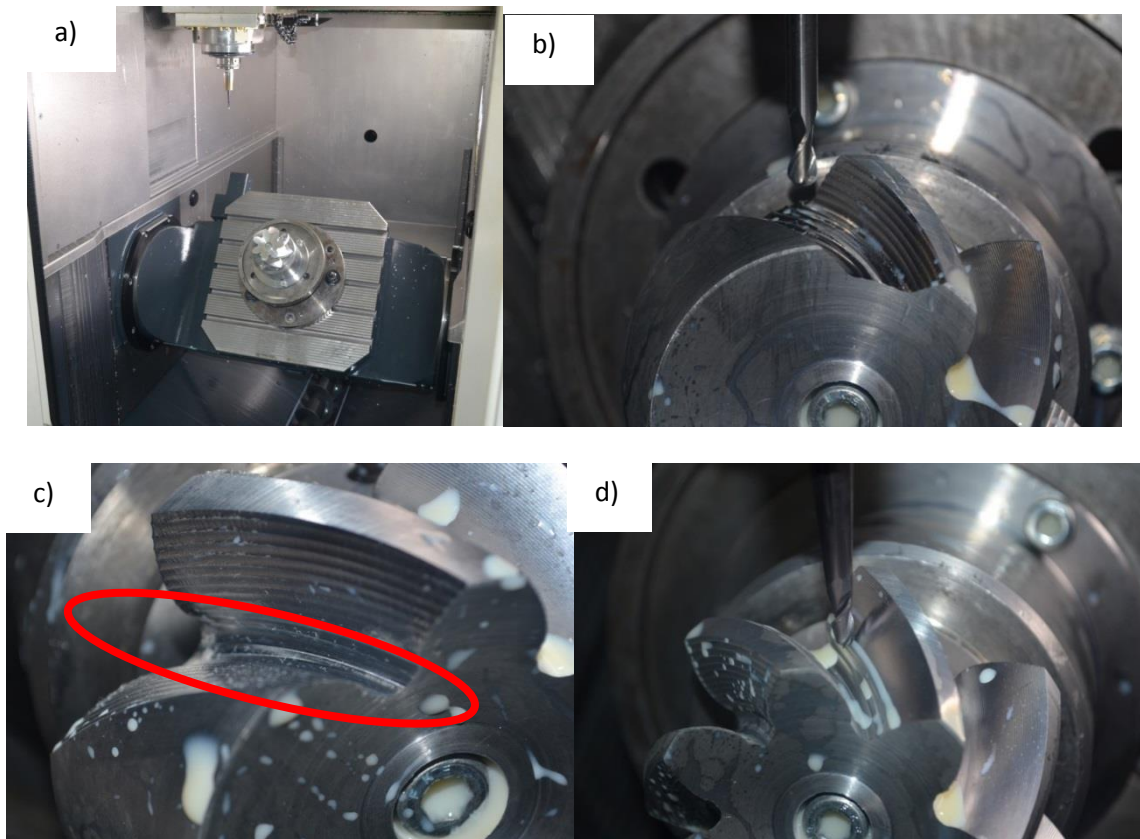
Rys. 8. Cykl obróbki wykończeniowej: a) wygenerowana ścieżka narzędzia, b) okno dialogowe cyklu, c) okno podziału na głębokości, d) ustawienia dodatkowe obróbki wykończeniowej.

W kolejnym etapie dokonano weryfikacji dokładności wykonania koła oraz symulacji ruchów maszynowych wykorzystując wirtualną maszynę. Przeprowadzenie takiej symulacji umożliwia uniknięcie błędów powstałych na etapie generowania ścieżek narzędzia. Błędy tego typu powstają w wyniku importowania geometrii wyrobu bądź dużych tolerancji wykonania wyrobu na etapie projektowania. Na rysunku 9 pokazano mapę dokładności wykonania wyrobu w systemie NX oraz widok maszyny wirtualnej zbudowanej na podstawie dokumentacji technicznej obrabiarki HSC 55 Linear firmy DMG w trakcie symulacji kodu maszynowego.



Rys. 9. Weryfikacja w systemie NX : a) dokładności, b) symulacja kodu maszynowego

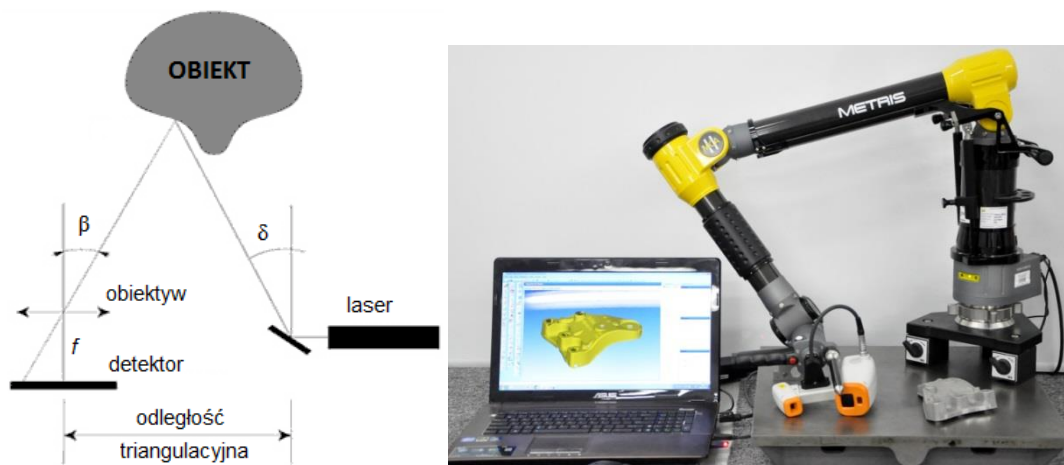
Po symulacji kodu maszynowego i sprawdzeniu prawidłowości całego procesu wygenerowano program obróbkowy do realizowania wyżej opisanych cykli obróbkowych. Programy zostały wdrożone na wieloosiowym centrum obróbkowym HSC 55 linear firmy DMG. Widok maszyny pokazano na rys. 10 oraz ujęto poszczególne etapy wytwarzania koła stożkowego na w/w obrabiarce.



Rys 10. Wdrożenie programu: a) widok przestrzeni obróbczej, b) obróbka zgrubna, c) obróbka resztek, d) obróbka wykończeniowa.

3. WERYFIKACJA DOKŁADNOŚCI WYKONANEGO KOŁA.

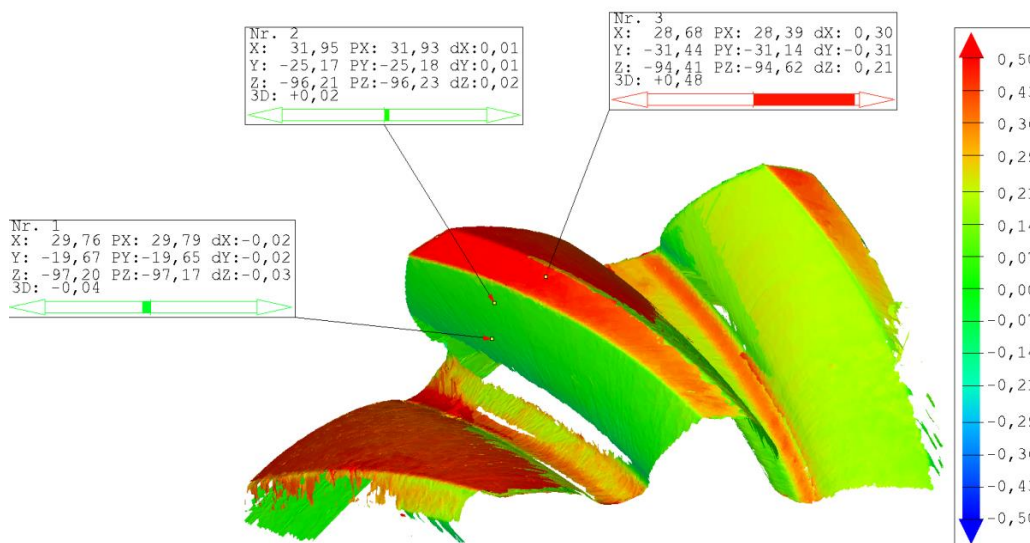
W celu digitalizacji uzyskanej geometrii, wykorzystano ramię pomiarowe METRIS MCA 2 wyposażone skaner laserowy MMDx100. Idea działania tego skanera, oparta jest na triangulacji laserowej. Metoda ta jest jedną z najlepiej znanych technik pomiaru obiektów 3D. Aby zmierzyć odległość od obiektu, potrzebne jest kierunkowe źródło światła i kamera video. Wiązka światła laserowego jest odchylana przez lustro w stronę skanowanego modelu. Następnie jest ona rozpraszana na powierzchni obiektu i rejestrowana przez oddaloną kamerę.



Rys. 11 Idea pomiaru przy użyciu skanera laserowego (po lewej) oraz ramię Metris MCA 2 (po prawej).

Obiektów i detektor CCD są płaskie, z czego wynika, że pozycja piksela rozproszonego światła zależy od kąta β . Znając ogniskową f obiektywu można określić kąt β , pod którym pada rozproszone światło. Jeśli znany jest dodatkowo kąt δ to można obliczyć współrzędne punktu w przestrzeni. Metoda ta znajduje zastosowanie przy pomiarach o małym zasięgu, ponieważ dokładność jest odwrotnie proporcjonalna do odległości lasera od przedmiotu. Niepewność pomiaru 1σ przy użyciu MMDx100 według testów producenta wynosi około $10\mu\text{m}$.

Na rys. 12 przedstawiono raport porównawczy zdigitalizowanej geometrii koła stożkowego z modelem nominalnym zapisanym w postaci siatki trójkątów STL. Jak wynika z rys. 12 odchyłka na powierzchni linii i zarysu zęba mieści się w zakresie 0.02 – 0.04 mm, co odpowiada porównawczo dokładności uzyskanej w symulacji wirtualnej w systemie NX.



Rys 12. Mapa odchyłek po pomiarze na ramieniu pomiarowym.

4. WNIOSKI

- wykorzystanie modułu do wirników pozwala na bardzo szybkie programowanie symultanicznej obróbki zgrubnej i wykończeniowej wyrobów o geometrii zbliżonej do wirnika, a takim przykładem jest koło stożkowe o zębach łukowych,
 - dokładność wykonania uzależniona jest w dużej mierze od ustawionych parametrów tolerancji i gęstości generowania punktów kontrolnych,
 - dla wykonanego przykładu koła stożkowego dokładność wykonania po pomiarach za pomocą ramienia pomiarowego z modelem nominalnym wynosiła w zakresie 0.02 do 0.04, co jest porównywalne z weryfikacją dokładności w systemie NX (odchyłka około 0.02 mm),
 - wykonywanie symulacji wirtualnej pracy maszyny pozwala na sprawdzenie programu obróbkowego w celu uniknięcia kolizji w całym układzie OUPN,
 - wadą stosowania modułu do programowania obróbki wirników jest ograniczenie realizacji obróbki tylko frezami kulistymi i stożkowymi.

5. LITERATURA

- [1] WANG Taiyong, XING Yuan, ZHAO Lin, LI Qing : NC Machining of Spiral Bevel Gear and Hypoid Gear Based on Unity Transformation Model, Transactions of Tianjin University, 2011
- [2] Herman J. Standtfeld : Basic of spiral bevel gears , Gear Technology, 2001