

Janusz POBOŻNIAK¹

BAZA DANYCH NARZĘDZI DO OBRÓBKI MATERIAŁÓW TRUDNOSKRAWALNYCH NA UŻYTEK SYMULACJI PROGRAMÓW CNC

Producenci narzędzi oferują często rozwiązania dedykowane do obróbki materiałów trudnoskrawalnych. Obok doboru samych narzędzi i parametrów skrawania, istotnym czynnikiem jest właściwe zaprojektowanie programów obróbki CNC w systemie CAM. W celu umożliwienia dokładniejszej kontroli poprawności takich programów, w artykule przedstawiono procedurę budowy bazy danych narzędzi do obróbki materiałów trudnoskrawalnych na użytek symulacji obróbki programów CNC. Procedurę tę przedstawiono na przykładzie adapterów Coromant Capto[®], głowic T-Max Q-Cut[®] i płytek do toczenia rowków. W procedurze wykorzystywane są gotowe modele geometryczne dostarczane przed producenta tych narzędzi oraz zaawansowane mechanizmy systemu CAD/CAM Catia, włączając w to modele sparametryzowane, tablice projektowe, generowanie treści katalogu na podstawie tablic projektowych oraz generowanie katalogu narzędzi na podstawie arkusza kalkulacyjnego. Przedstawiona baza danych może być elementem wirtualnego środowiska wytwarzania.

1. WSTĘP

Materiały trudnoskrawalne obejmują znaczący zakres w technologii wytwarzania części maszyn, szczególnie w takich branżach przemysłowych, jak: przemysł lotniczy, motoryzacyjny, narzędziowy czy przemysł wytwarzający formy odlewnicze [12]. W przemyśle lotniczym z takich materiałów wykonywane są obudowy turbin, łopatki i tarcze turbin oraz wały. Powszechnie stosowane są takie materiały jak Inconel 716/718, Wasspaloy, Udimet 720 czy tytan [7]. Poza samymi właściwościami skrawalności takich materiałów, dodatkową trudność stanowią długość obrabianych elementów oraz duża liczba złożonych geometrycznie elementów o utrudnionym dostępie, często zlokalizowanych na powierzchniach wewnętrznych części.

Producenci oferują specjalne systemy narzędziowe do obróbki materiałów trudnoskrawalnych. Przykładowo, firma Sandvik-Coromant oferuje dedykowane rozwiązania, jak na przykład wytaczaki z systemem tłumienia drgań Silent Tools[®], o średnicy do 250mm i długości do 14 D. Innym, dedykowanym do tego celu rozwiązaniem

¹ Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, Kraków,
E-mail: pobozniak@mech.pk.edu.pl

są elastyczne, modułowe systemy narzędziowe CoroCut SL70, o następujących właściwościach [7]:

- dysze doprowadzające chłodziwo pod wysokim ciśnieniem, zapewniające łatwy dostęp do kołnierza otaczającego wał,
- listwy CoroTurn SL70 przystosowane do specyfiki profilowania,
- złącze owalne zapewniające wyjątkową stabilność i dostępność,
- węglkowe gatunki RCMT i CoroCut standardowo przystosowane do podawania chłodziwa pod wysokim ciśnieniem.



Rys. 1. Narzędzia firmy Sandvik-Coromant do obróbki tarczy turbiny silnika odrzutowego [10]

Fig. 1. Sandvik-Coromant tools for the machining of the turbine sleeve of jet engine [10]

Części produkowane w przemyśle lotniczym odznaczają się specyficznymi charakterystykami. Jedną z nich jest wysoka cena. Wynika z kosztu materiału oraz z czasu wymaganego na opracowanie technologii obróbki i samą obróbkę, która może trwać dziesiątki godzin. Jednocześnie, program produkcyjny jest realizowany przez lata, co wymusza staranne przygotowanie procesu technologicznego obróbki. Zadanie przygotowania procesu technologicznego obróbki obejmuje między innymi:

- dobór odpowiednich opravek narzędziowych,
- dobór gatunku i geometrii płytek,
- dobór odpowiednich parametrów skrawania,
- właściwe i poprawne zaprogramowanie obrabiarek sterowanych numerycznie.

Jednym z etapów technicznego przygotowania produkcji jest więc utworzenie programów sterujących dla obrabiarek CNC i ich weryfikacja, co jest tematem niniejszej pracy.

2. WIRTUALNE WYTWARZANIE

Już od początku lat 90-ych obserwuje się zjawisko szerokiego wykorzystania środowiska wirtualnego, utworzonego na komputerze, w technicznym przygotowaniu produkcji. Głównym celem technologii wirtualnego wytwarzania jest wykrycie jak

największej liczby potencjalnych błędów, przed rozpoczęciem produkcji. Technologia ta obejmuje szereg obszarów, począwszy od symulacji ścieżki narzędzia, sprawdzania poprawności programów CNC, symulacji usuwania materiałów, a skończywszy na tak zaawansowanych zadaniach jak analiza okresu trwałości narzędzi, proces tworzenia się wióra [11], przewidywanie błędów obróbki, wibracji i temperatury [4]. Zastosowanie technologii wirtualnej obróbki redukuje koszty oraz czas technicznego przygotowania produkcji. Jednym z obszarów wirtualnego wytwarzania jest więc symulacja obróbki [2], [5],[6]. Symulacja obróbki jest ważnym etapem programowania obrabiarek sterowanych numerycznie, mającym na celu sprawdzenie poprawności programów, przed rozpoczęciem ich uruchamiania na obrabiarce. Obecnie dąży się, aby program obróbki był od razu poprawny i optymalny [1]. W trakcie takiej symulacji można przede wszystkim sprawdzić poprawność ruchów wykonywanych przez narzędzie. Obejmuje to sprawdzenie toru ruchu, który powinien być dostosowany do zastosowania cyklu obróbki. Przykładowo, powszechnie stosowane zalecenie producenta to wchodzenie w materiał z interpolacją śrubową. Można też wykryć kolizje narzędzia z przedmiotem obrabianym, obrabiarką i oprzyrządowaniem przedmiotowym. Symulacja na modelu bryłowym pozwala także stwierdzić, czy materiał został w całości usunięty. Można to zadanie zrealizować poprzez obserwację uzyskanego po obróbce modelu lub skorzystać z narzędzi, które wizualnie informują ilości pozostającego nadmiaru do usunięcia, albo wyświetlają listę obszarów materiału, które należy wciąż usunąć. Dostępna jest także analiza pozwalająca wyłonić obszary, gdzie materiał został niepotrzebnie usunięty. Udostępniana jest także informacja o czasie trwania obróbki, co może być wykorzystane w technicznym przygotowaniu produkcji, przykładowo do szacowania kosztów czy planowania obciążenia obrabiarek. Większość systemów pozwala również przeprowadzać symulację z użyciem modelu obrabiarki. Rozwiązanie takie pozwala wykryć jeszcze większą liczbę błędów, ułatwiając przygotowanie poprawnego programu obróbki.

Warunkiem sprawdzenia poprawności programu obróbki jest posiadanie odpowiednich modeli geometrycznych narzędzi, odzwierciedlających dokładnie używane narzędzia. Systemy CAM uwzględniają geometrię narzędzi przy wyznaczaniu nadmiaru materiału, które wciąż pozostają do usunięcia, jak również do wyznaczania niepotrzebnie usuniętego nadmiaru materiału. Brak lub niedokładne modele narzędzia uniemożliwiają taką kontrolę. W celu korzystania z tej funkcjonalności niezbędne jest posiadanie modelu nie tylko płytki skrawającej, ale również części chwytowej i uchwytu narzędziowego. W niniejszej pracy przedstawiono procedurę budowy bazy danych narzędzi do obróbki materiałów trudnoskrawalnych na przykładzie głowic T-Max Q-Cut[®], z adapterami Coromant Capto[®] i płytkami serii N151.3-4G w systemie CAD/CAM Catia [3]. Przy opracowywaniu tej bazy danych zostaną wykorzystane modele geometryczne głowic i adapterów, udostępniane w Internecie przez firmę Sandvik-Coromant. Utworzony zostanie sparametryzowany model płytki serii N151.3-7G. Na podstawie tego modelu oraz parametrów płytek zapisanych w arkuszu kalkulacyjnym wygenerowana zostanie cała seria płytek. Modele takie nie są oferowane przez firmę Sandvik-Coromant. Przedstawiona procedura pozwala tworzyć bazy danych narzędzi, które następnie będą używane do weryfikacji poprawności programów obróbki i mogą być elementem środowiska wirtualnego wytwarzania.

3. PROCEDURA BUDOWA BAZY DANYCH NARZĘDZI

3.1 METODY DEFINIOWANIA NARZĘDZI W SYSTEMIE CATIA

Najprostsza metoda modyfikacji danych narzędziowych w systemie Catia polega na wywołaniu okna dialogowego do definiowania narzędzi. W oknie tym wyświetlane są poszczególne parametry geometryczne charakteryzujące narzędzie. Można je interaktywnie zmieniać. Metoda ta, pomimo swojej prostoty, posiada wady. Pierwsza z nich to uciążliwość wprowadzania. Każde narzędzie posiada co najmniej kilka wymiarów charakterystycznych, które należy wprowadzać za każdym razem. Nie ma możliwości kopiowania powtarzających się parametrów. Kolejna wada, to ograniczone możliwości modelowania kształtu narzędzi. Narzędzia specjalne, stosowane przy obróbce materiałów trudnoskrawalnych, mają często unikatowe kształty, których nie da się zdefiniować za pomocą standardowych parametrów.

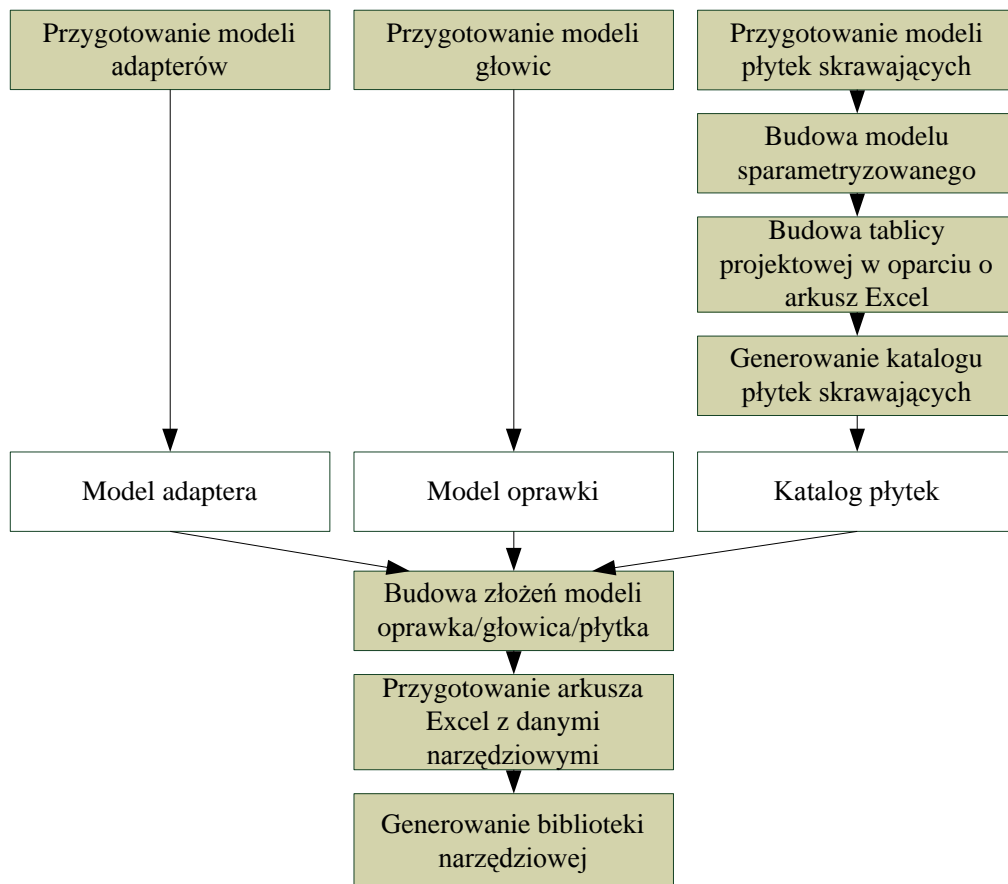
W przypadku konieczności zdefiniowania dużej liczby narzędzi, wygodnym rozwiązaniem jest zapisanie ich parametrów w postaci pliku arkusza kalkulacyjnego. Arkusz ten musi posiadać specjalną strukturę. Każdy wiersz reprezentuje jedno narzędzie, a każda kolumna jeden parametr narzędzia. Z uwagi na fakt, że poszczególne typy narzędzi posiadają różne parametry, jak również odmienną liczbę parametrów, przy definiowaniu narzędzi, w niektórych kolumnach nie są po prostu podawane wartości. W praktyce korzysta się z dostarczonych szablonów, kopiując wiersze, stosownie do zapotrzebowania. Arkusz ten należy zapisać w formacie CSV (rozdzielanie danych przecinkami), a następnie uruchomić specjalne makro, dostarczone przez firmę Dassault Systems, które spowoduje utworzenie/uaktualnienie katalogu narzędzi.

Zarówno w przypadku ręcznego modyfikowania danych dla poszczególnych narzędzi, jak również w przypadku definiowania narzędzi za pomocą arkusza kalkulacyjnego Excel, istnieje możliwość dodania modelu bryłowego, reprezentującego faktyczny kształt narzędzia. Możliwość ta wykorzystana zostanie w przedstawianej procedurze.

3.2. OPIS PROCEDURY TWORZENIA BAZY DANYCH NARZĘDZI

Procedurę tworzenia bazy danych narzędzi pokazano na rys.2. Pierwszym krokiem jest przygotowanie modeli geometrycznych adapterów Coromant Capto[®], głowic T-Max Q-Cut[®] i płytek. Modele adapterów są pobierane bezpośrednio ze strony producenta narzędzi, firmy Sandvik-Coromant. Jedyna wymagana zmiana to konieczność dodania parametru informującego o przeznaczeniu bryły. Parametr ten informuje, czy bryła jest odpowiedzialna za usuwanie materiału (jak to ma miejsce w przypadku płytki skrawającej), czy też nie (jak to ma miejsce w przypadku oprawki narzędziowej czy adaptera). Wartość tego parametru jest wykorzystywana do stwierdzenia, czy zetknięcie się bryły z materiałem ma być traktowane jako kolizja. Każde zetknięcie się brył z materiałem lub innym elementem infrastruktury środowiska do symulacji, jak model obrabiarki czy uchwytu

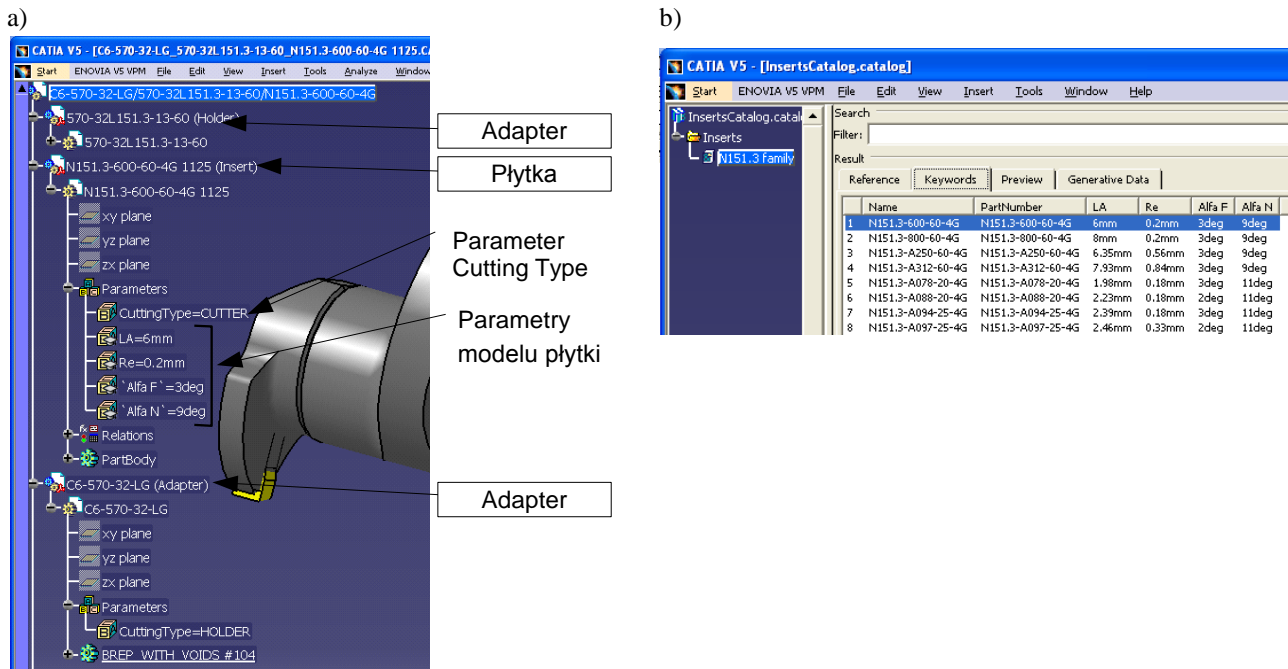
obróbkowego, jest sygnalizowane jako kolizja. Modele oprawek są również pobierane ze strony producenta. Standardowo, modele te składają się z dwóch brył, z których jedna reprezentuje płytkę skrawającą, a druga samą oprawkę. Bryła reprezentująca oprawkę jest wykorzystywana bez zmian. Jest ona jedynie uzupełniana o omawiany wcześniej parametr informujący o jej przeznaczeniu. Nie jest możliwe natomiast wykorzystanie bryły reprezentującej płytkę skrawającą. Wynika to z dwóch powodów. Pierwszy z nich jest powodowany przez fakt, że w momencie pobierania modeli głowic ze strony producenta nie ma możliwości wybrania płytki skrawającej. Wczytywana wraz z modelem głowicy płytka posiada więc przypadkowe parametry, nawet tak istotne jak szerokość (w przypadku płytek do przecinania) czy kąt zaokrąglenia naroży. Sytuacja taka dyskwalifikuje te płytki z zastosowania do symulacji. Użytkownik nie może zdecydować jaka płytka ma być wstawiona. Sama płytka, reprezentowana jest jako bryła nie sparametryzowana, nie można więc ręcznie zmienić jej parametrów. Nie ma również dla niej historii modelowania. Drugi powód wynika z faktu, że w przypadku symulacji toczenia, a modele takich narzędzi są implementowane w pracy, system wymaga przygotowania specjalnego profilu, który jest używany do wyznaczania kształtu przedmiotu po obróbce oraz sprawdzania kolizji. Przygotowanie modelu oprawki obejmuje też usunięcie bryły reprezentującej płytkę skrawającą.



Rys. 2. Procedura budowy bazy danych narzędzi
Fig. 2. Procedure for tool database creation

Z uwagi na fakt, że producenci oferują całe serie płytek z dobrze zdefiniowanymi parametrami, podjęta została decyzja o budowie modelu sparametryzowanego. Jako parametry modelu płytki wybrano szerokość ostrza, promień zaokrąglenia naroży oraz dwa kąty Alfa N i Alfa F [9]. Szerokość ostrza oraz promień zaokrąglenia zostały powiązane z modelem geometrycznym szkicu używanego do tworzenia bryły płytki. Szkic ten musi być tworzony w dodatniej ćwiartce płaszczyzny wyznaczonej przez osie Z+ i X+. Profile mogą składać się z odcinków linii i łuków oraz muszą być zamknięte. Jako że modelowane są płytki do obróbki rowków, główna krawędź skrawająca musi być równoległa do osi Z. Dodatkowo, punkt prowadzony płytki musi pokrywać się z środkiem układu współrzędnych, a sam profil płytki musi być rysowany w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Pozostałe parametry są definiowane na modelu bryłowym. Należy również pamiętać, aby zdefiniować parametr CuttingType o wartości CUTTER, informujący o przeznaczeniu tej bryły. Model ten zostanie wykorzystany do generowania katalogu z całą serią płytek z użyciem mechanizmu tzw. tablic projektowych (ang. Design Tables). Po utworzeniu i sprawdzeniu modelu bryłowego kolejną czynnością polega na przygotowaniu arkusza Excel. Pierwsza kolumna w tym arkuszu musi posiadać nazwę PartNumber, a nagłówki pozostałych kolumn muszą być takie same jak nazwy parametrów modelu, uzupełnione o przyrostek w postaci nazwy jednostek, np. "La (mm)". W każdym wierszu należy następnie podać nazwę płytki, np. N151.3-600-60-4G i jej parametry. Dla każdej płytki jest więc tworzony jeden wiersz. Po przygotowaniu tego arkusza kalkulacyjnego Excel z modelami płytek, należy przejść do definiowania tablicy projektowej [8]. W tym celu otwiera się sparametryzowany model płytki oraz, po wybraniu odpowiedniego polecenia, wskazuje utworzony wcześniej arkusz kalkulacyjny. Drzewo nawigacyjne systemu zostaje uzupełnione o nowy wierzchołek. Dwukrotne kliknięcie tego wierzchołka powoduje wyświetlenie okna dialogowym, z wersjami płytek, w którym można wybrać żądany model. Tak więc, w celu zmiany modelu, nie jest konieczne modyfikowanie wszystkich parametrów, a jedynie wybranie jednej, z wcześniej zdefiniowanych wersji. W celu dodatkowego zwiększenia wygody korzystania z systemu, utworzono katalog. Katalog może składać się z rozdziałów i podrozdziałów. Pozwala więc utworzyć strukturę odpowiadającą podziałowi płytek. Dodatkowo, przy korzystaniu z katalogu można definiować zapytania, co przyspiesza wybieranie żądanej płytki w przypadku bardzo rozbudowanych katalogów. Sama operacja tworzenia katalogu polega na zdefiniowaniu struktury katalogu oraz wskazaniu pliku z tablicą projektową. Po utworzeniu katalogu należy przejść do tworzenia modeli bryłowych narzędzi, składających się z uprzednio przygotowanych modelu adapterów, opravek oraz płytek. Modele płytek są wczytywane z katalogu, wygenerowanego automatycznie na podstawie wskazanego pliku z tabelą projektową. Wymagane jest przygotowanie oddzielnego złożenia dla każdej używanej kombinacji adapter/oprawka/płytki. Z tego względu zalecane jest stosownie odpowiedniego nazewnictwa, opartego na nazewnictwie producenta narzędzi. Przykład gotowego modelu oraz utworzony katalog płytek przedstawia rys. 3.

Następna czynność polega na utworzeniu arkusza kalkulacyjnego Excel z danymi narzędziowymi. Plik ten również musi posiadać odpowiednią strukturę, która jednak jest dosyć czytelna. Rodzaj wprowadzanych danych zależy od rodzaju narzędzia. Dane te należy wpisywać w odpowiednich komórkach.



Rys. 3. a) Struktura modeli geometrycznych narzędzia, b) katalog płytek
 Fig. 3. a) Structure of the tool geometric models, b) insert catalogue

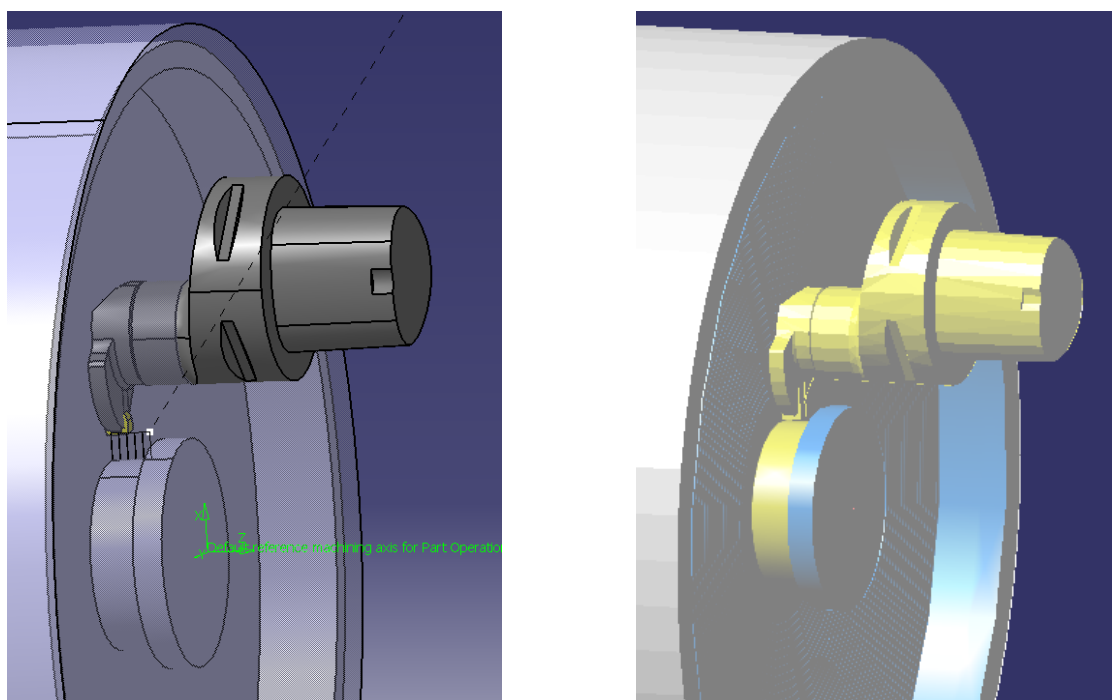
Przykładowe arkusze, które można wykorzystać jako szablony, dostarczane są wraz z systemem Catia. Pomimo obowiązywania wspomnianych powyżej wymogów, pliki te posiadają stosunkowo prostą strukturę. Jedną z pierwszych kolumn określa typ narzędzia. W przypadku noży tokarskich do rowków, jest to nazwa MfgGrooveExternalTool. Następnie w kolejnych kolumnach (te które są wypełnione dla narzędzia wzorcowego w szablonie), należy wpisać wartości parametrów, zarówno dla adaptera, jak i dla oprawki i płytki. Te parametry to na przykład szerokość głównej krawędzi skrawającej, promień zaokrąglenia naroży płytki, itp. Parametry te są wykorzystywane do wyznaczania torów narzędzi, natomiast sama symulacja na modelu bryłowym jest przeprowadzana w oparciu o wcześniej przygotowane modele bryłowe. Jedną z kolumn służy też do określania plików z modelami bryłowymi narzędzi (Rys. 4).

Keywords	MFG_NAME_BAS	MFG_NAME	MFG_MIN_C	MFG_MAX_C	MFG_CUT_L	MFG_GAUG
Types	String	String	mm	mm	mm	deg
MfgGrooveExternalTool	C6-570-32-LG/570-32L		4	4		90 G:\Catia\CD\Narzedzia\ExceN
MfgGrooveExternalTool	C6-570-32-LG/SL-266RKF		6	6		90 G:\Catia\CD\Narzedzia\ExceN
MfgGrooveExternalTool	C6-570-32-LG/SL-PCLNL-		3	3		90 G:\Catia\CD\Narzedzia\ExceN
MfgGrooveExternalTool	C6-570-32-LG/SL-PDJNL-		4	4		90 G:\Catia\CD\Narzedzia\ExceN
MfgGrooveExternalTool	C6-570-32-LG/SL-PDJNR-		6	6		90 G:\Catia\CD\Narzedzia\ExceN
MfgGrooveExternalTool	C6-570-32-LG/TR-SL-D13		2	2.5		90 G:\Catia\CD\Narzedzia\ExceN

MAX_C	MFG_MIN_C	MFG_CUT_L	MFG_GAUG
mm	mm	mm	deg



Rys. 4. Struktura pliku XLS z definicjami narzędzi
 Fig. 4. Structure of XLS file with the tool definitions



Rys. 5. Symulacja obróbki: a) tory ruchu narzędzi, b) usuwanie materiału na modelu bryłowym
Fig. 5. Machining simulation: a) tool path drawing, b) material removal on solid model

Po przygotowaniu pliku należy tylko uruchomić odpowiednie makro, przygotowane przez producenta systemu Catia, które tworzy bibliotekę narzędzi. Z biblioteki tej można już bezpośrednio wywoływać narzędzia. Należy zwrócić uwagę, że biblioteka narzędzi w systemie Catia również posiada możliwość definiowania zapytań, co pozwala szybko wybrać szukane narzędzie. Można również tworzyć oddzielne biblioteki dla poszczególnych producentów narzędzi. Przykłady symulacji z rysunkami torów ruchu narzędzi i usuwaniem materiału na modelu bryłowym podaje rys. 5.

4. WNIOSKI

Etap technicznego przygotowania produkcji ma zasadniczy wpływ na koszty wytwarzania. W celu obniżenia tych kosztów oraz skrócenia czasu przygotowania produkcji, zalecane jest symulowanie programów obróbki CNC w środowisku wirtualnym. Przedstawiona w pracy procedura budowy bazy modeli narzędzi do symulacji programów CNC pozwala na dokładniejsze sprawdzenie tworzonych programów. Użycie gotowych modeli geometrycznych, opravek i adapterów udostępnianych przez producenta oraz zastosowanie takich mechanizmów jak tabele projektowe i automatyczne generowanie katalogu płytek, skracają czas tworzenia takiej bazy danych. Baza taka może być elementem wirtualnego środowiska projektowania procesów technologicznych.

LITERATURA

- [1] ALTINTAS Y., BRECHER C., WECK M., WITT S., 2005, *Virtual Machine Tool*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 54/2.
- [2] CHRZANOWSKI J., WYPYSIŃSKI R., 2012, *Postprocessor - niezbędny łącznik pomiędzy systemem CAM a obrabiarką NC*, Inżynieria Maszyn, 17/2.
- [3] Dokumentacja systemu Catia V5R21, 2013, Dassault Systemes.
- [4] KADIR A.A., XU X., HÄMMERLE E., 2011, *Virtual machine tools and virtual machining - A technological review*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 27/3.
- [5] MOREK R., 2012, *Symulacyjna weryfikacja programu obróbki*, Inżynieria Maszyn, 17/2.
- [6] PRZYBYLSKI W., DEJA M., 2007, *Komputerowo wspomagane wytwarzanie części maszyn*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- [7] Sandvik Coromant, 2013, *Kompletne rozwiązania obróbcze - silniki lotnicze*.
- [8] SKARKA W., 2010, *CATIA V5. Podstawy budowy modeli autogenerujących*, Helion, Gliwice.
- [9] www.coroguide.com
- [10] www.sandvik.coromant.com/pl-PL/industrysolutions/aerospace
- [11] ZĘBALA W., 2011, *Modelowanie procesu skrawania*, Politechnika Krakowska, Wydawnictwo PK, ISBN: 9788372426277.
- [12] ZĘBALA W., 2011, *Modelowanie procesu toczenia materiałów trudnoskrawalnych*, Czasopismo Techniczne, 5-M.

DATABASE OF DIFFICULT TO CUT MATERIAL TOOLS FOR THE SIMULATION OF CNC PROGRAMS

Tool manufacturers very often offer the customized solutions for the machining of the difficult to cut materials. Apart from the selection of the cutting tools and the machining cutting conditions, the development of correct CNC program in CAM system is also very important. To allow for the detailed validation of such programs, the procedure for the development of the database of difficult to cut material tools for the simulation of CNC programs is presented in this paper. These procedure was presented using the Coromant Capto[®] adapters, T-Max Q-Cut[®] tool holders and inserts for the grooving as examples. The procedures uses the geometric models available from the tool manufacturer and the advanced functions of CAD/CAM Catia system like parameterized models, design tables, generation of the contents of catalogues based on the design tables and the generation of the tool database using the spreadsheet. The presented database can be included as the element of the virtual manufacturing system.