

Andrzej Zaborski

Modelowanie i symulacja komputerowa w procesach przygotowania produkcji

Dydaktyka Informatyki 5, 209-222

2010

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Andrzej Zaborski

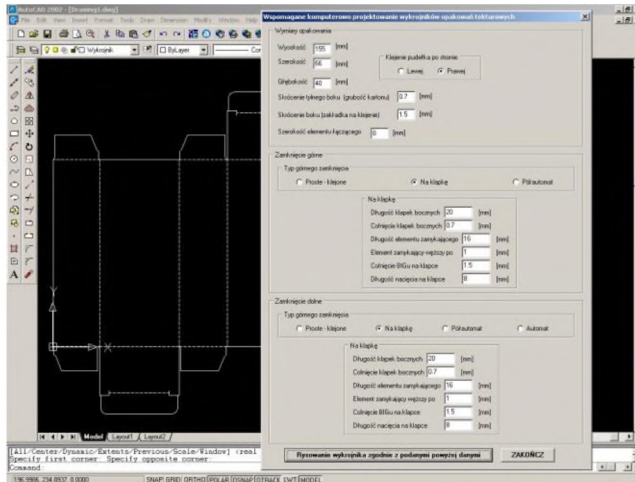
MODELOWANIE I SYMULACJA KOMPUTEROWA W PROCESACH PRZYGOTOWANIA PRODUKCJI

1. Wprowadzenie

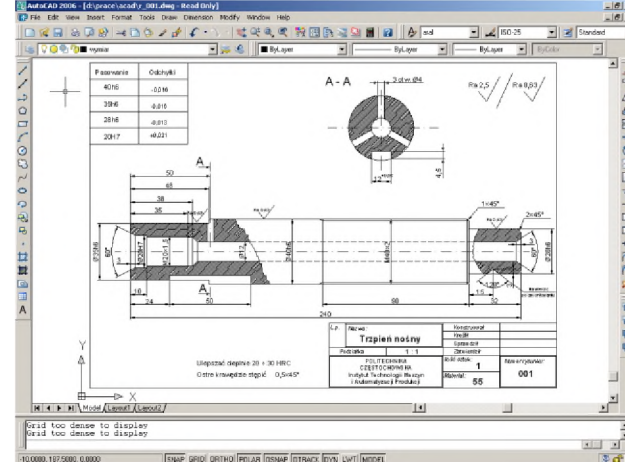
Ostatnich kilka lat, to okres gwałtownych zmian zachodzących we współczesnych zakładach produkcyjnych na wszystkich etapach procesu przygotowania produkcji. Ich przyczyną staje się coraz powszechniejsze wprowadzenie do procesu projektowo-konstrukcyjnego systemów komputerowych CAD/CAM. Zmiany zaszły praktycznie na każdym etapie, począwszy od pojawienia się koncepcji przyszłego wyrobu, a kończąc na sposobie wygenerowania oprogramowania na obrabiarki sterowane numerycznie, systemy skomputeryzowanej kontroli jakości, czy też komputerowo sterowane systemy transportu wewnętrznego [Chlebus 2000; Zaborski, Tubielewicz 2004: 588–591].

Obecnie punktem wyjścia do wszelkiego rodzaju prac związanych z komputerowo wspomaganym przygotowaniem procesu wdrożenia do produkcji nowego wyrobu stać się musi zaprojektowanie i modelowanie części składowych, z których powstaje (na razie wirtualnie) projektowany obiekt. Dzieje się to z reguły w wyspecjalizowanych programach CAD lub modułach projektowych zintegrowanych systemów przygotowania produkcji CAD/CAM [Tubielewicz, Zaborski 2007: 207 – 212; Zaborski, Tubielewicz 2007: 127 – 138]. Odbywa się to obecnie coraz częściej w postaci projektów trójwymiarowych, zwymiarowanych w sposób parametryczny. Dzieje się tak od połowy lat dziewięćdziesiątych XX wieku, kiedy to nastąpił bardzo szybki wzrost wydajności komputerów osobistych. Rozwój technik komputerowych umożliwił powstanie zaawansowanych programów do tworzenia profesjonalnej dokumentacji technicznej niezbędnej do współczesnego przygotowania produkcji. Rozpoczął się proces zastępowania konwencjonalnych, ręcznych technik rysowania znacznie bardziej efektywnymi technikami modelowania komputerowego. Ogromny wzrost wydajności i dostępności komputerów, jaki dokonał się w ostatnich kilku latach, zaowocował powstaniem nowej kategorii programów do modelowania 3D. Przy ich użyciu projektuje się z założenia trójwymiarowe obiekty, które mogą być bazą nie tylko dla tworzenia dwuwymiarowej dokumentacji technicznej, ale również punktem wyjścia do obliczeń wytrzymałościowych (np. przy zastosowaniu metody elementów skończonych), czy też do opracowania technologii obróbki i wygenerowania

a)



b)



Rys. 1. Rysunki wykonane w systemie projektowania 2D (AutoCAD): a – tradycyjny rysunek wykonawczy; b – projekt wykrojnika do wykonywania opakowań tekturowych wygenerowany automatycznie przez program wspomagający projektowanie

kodów sterujących obrabiarkami sterowanymi numerycznie. Tradycyjne dwuwymiarowe rysunki złożeniowe nie zapewniały bowiem szybkiego wychwytywania wad i nieciągłości w pasowaniu poszczególnych elementów. Dla skontrolowania poprawności założeń montażowych i kinematycznych często konieczne było zbudowanie modelu projektowanego obiektu lub nawet działającego, kosztownego prototypu. Aktualizacja dokumentacji 2D jest bardzo czasochłonna. Każdą zmianę w projekcie trzeba wprowadzić na kilka rzutów, a często także na kilka pomocniczych przekrojów i widoków. Bardzo łatwo wówczas o pomyłkę i przeoczenie zmiany na pewnym fragmencie dokumentacji. Zaprojektowanie części i zespołów w klasycznej metodzie 2D uniemożliwia z reguły wykonanie

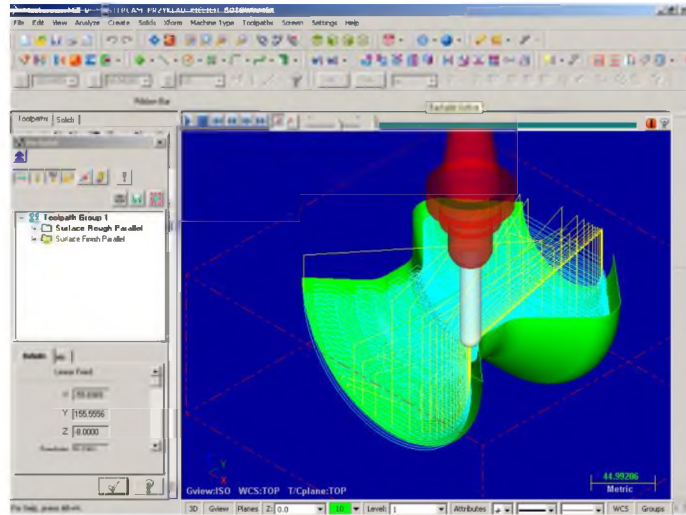
nawet najprostszyc analiz kinematycznych, czy wytrzymałościowych. Modelowanie trójwymiarowe eliminuje konieczność wykonywania kolejnych rzutów i widoków elementu, ponieważ cała dwuwymiarowa dokumentacja powstaje niemal automatycznie. Projektantowi pozostaje jedynie wskazanie odpowiednich widoków i przekrojów, które są automatycznie generowane na podstawie bryłowego modelu i rozmieszczane na płaskim rysunku. Tak więc projektowanie 3D nie wyklucza wygenerowania klasycznej „dwuwymiarowej” – 2D dokumentacji konstrukcyjnej. Dzieje się to jednak poprzez tworzenie płaskich rzutów, widoków i przekrojów na podstawie zaprojektowanego wcześniej trójwymiarowego obiektu.

Pomimo tych niewątpliwych zalet modelowania 3D nie wydaje się jednak możliwe, by tradycyjny dwuwymiarowy sposób zapisu konstrukcji został całkowicie zarzucony. W bardzo wielu sytuacjach szybkie wykonanie prostych dwuwymiarowych rysunków czy też szkiców jest w zupełności wystarczające (a zarazem niezbędne) do poprawnego zrealizowania zadania postawionego na określonym etapie przygotowania produkcji. Przykładem tego typu zadania może być rysunek wykonawczy przekazywany pracownikowi obsługującemu obrabiarkę sterowaną konwencjonalnie (rys. 1a). Podane na nim wymiary pozwalają na wykonanie postawionego zadania produkcyjnego. Model trójwymiarowy wydaje się w tym przypadku zbędny.

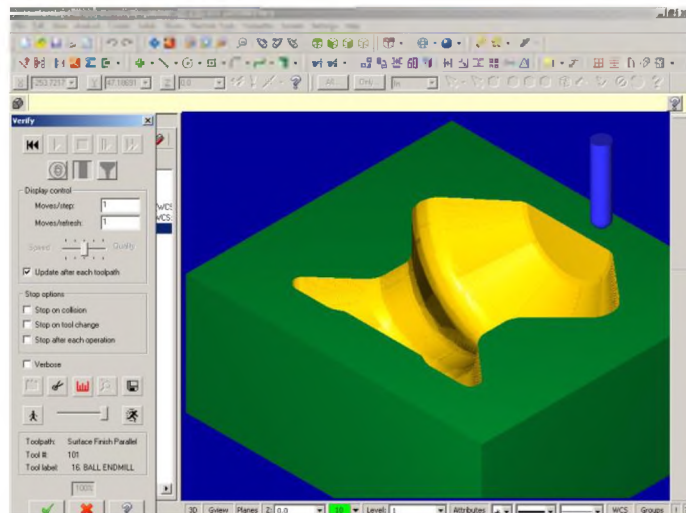
Warto tu również zwrócić uwagę na możliwość automatycznego generowania dokumentacji projektowej. Systemy graficzne, takie jak np. AutoCAD udostępniają poprzez interfejs automatyzacji OLE możliwość tworzenia projektów przy zastosowaniu języków ogólnego zastosowania, takich jak np. Borland Delphi. Możliwe jest automatyczne wykonywanie dwuwymiarowych projektów w oparciu o wprowadzone do aplikacji zewnętrznej dane wejściowe do opracowania projektu (rys. 1b).

Warto zwrócić uwagę, iż wprowadzenie w ciąg ostatnich kilkunastu lat współczesnych komputerowych systemów przygotowania produkcji rewolucjonizuje nie tylko sam sposób przygotowania produkcji, ale wpływa również na zmianę wyglądu i kształtów otrzymywanych w wyniku tego procesu współczesnych wyrobów. Jeszcze kilkanaście lat temu konstruktor przygotowujący nowy wyrób do produkcji (opracowując jego kształt) musiał się liczyć z ograniczonymi możliwościami technologicznymi danego zakładu. Wykonanie wyrobu na obrabiarkach konwencjonalnych, czy też obrabiarkach sterowanych numerycznie, programowanych przy zastosowaniu konwencjonalnego „ręcznego” ich programowania, z konieczności wymuszało znaczne uproszczenie kształtów projektowanych wyrobów. Z tego to powodu wyroby sprzed kilkunastu lat miały kształty oparte o płaszczyzny, linie proste i co najwyżej kontury opisane fragmentem powierzchni walca czy stożka. Praktycznie nie do pomyślenia było uzyskanie bardziej skomplikowanych kształtów. Wprowadzenie do współczesnych zakładów pracy systemów komputerowych przygotowania produkcji uwolniło

a)

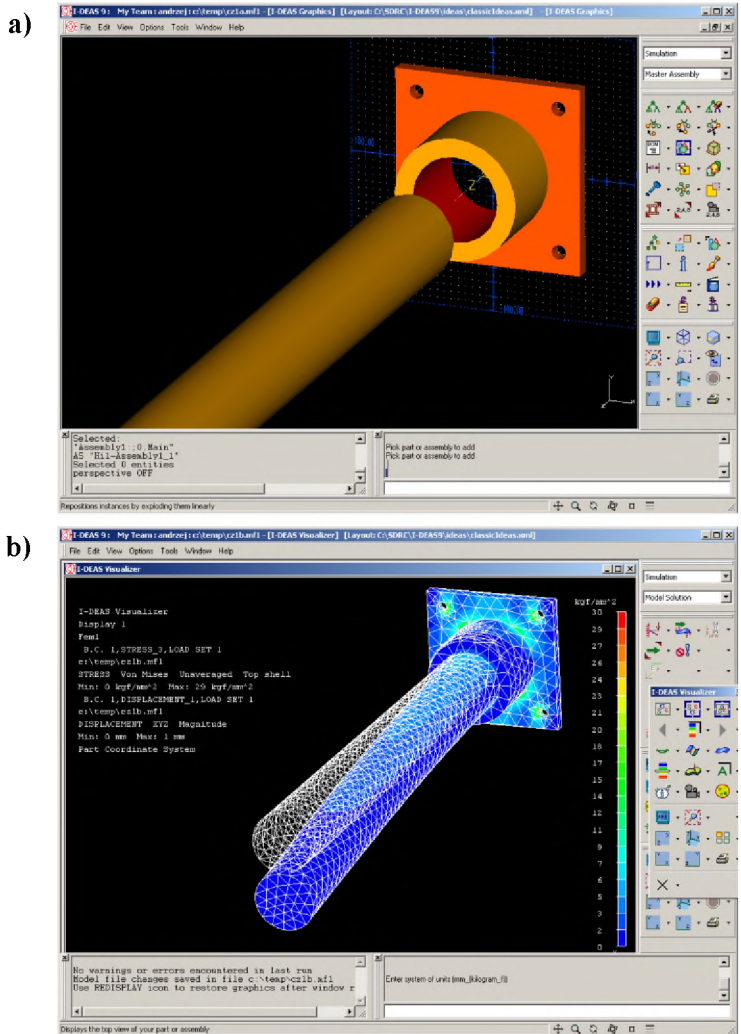


b)



Rys. 2. Opracowanie technologii wykonania (a) i symulacja przebiegu obróbki (b) przykładowego skomplikowanego kształtu modelu przestrzennego (MasterCAM)

konstruktorów od tych ograniczeń. Współczesne wyroby cechują się kształtami ograniczonymi jedynie fantazją zespołów plastyków, inżynierów konstruktorów wdrażających je do produkcji. Współczesne systemy projektowe pozwalają na wykonanie projektów dowolnie skomplikowanych, fantazyjnych kształtów. Bez problemów można je wprowadzić do programów, czy też wyspecjalizowanych modułów technologicznych. Wygenerowanie technologii obróbki dla dowolnie skomplikowanych kształtów odbywa się niemal w tym samym czasie jak dla kształtów tradycyjnych – prostych (rys. 2). Oczywiście jest, że wygenerowany



Rys. 3. Tworzenie rysunku złożeniowego (a) i symulacja MES stanu naprężeń i odkształceń zachodzących podczas obciążania analizowanego elementu (I-deas)

w sposób automatyczny kod sterujący będzie kilkadziesiąt razy dłuższy niż ten, który można by uzyskać za pomocą programowania ręcznego. Nie ma to jednak większego znaczenia, gdyż kod ten jest w postaci pliku tekstowego przekazywany na obrabiarkę za pośrednictwem dyskiety, czy też za pośrednictwem bezpośredniego połączenia komputera z obrabiarką. Tak więc wprowadzenie do praktyki przemysłowej komputerowego modelowania projektowanych wyrobów i współczesnych komputerowych systemów przygotowania produkcji miało trudny do przecenienia wpływ na tak, wydawałoby się, odległy od spraw techno-

logicznych proces, jakim stało się całkowite odmienienie kształtów wyrobów, które nas otaczają. Wystarczy popatrzeć na otaczające nas wyroby powszechnego użytku (sprzęt muzyczny, sprzęt komputerowy, piloty od wszelkiego rodzaju sprzętu elektronicznego, opakowania szklane i plastikowe itp.), by uświadomić sobie jak wiele się w ich wyglądzie zmieniło. Oczywiście można to wytłumaczyć zmianą gustów i upodobań odbiorców. Mało kto jednak zdaje sobie sprawę z faktu, że stało się to możliwe jedynie dzięki powszechnemu obecnie zastosowaniu komputerowych systemów CAD/CAM do przygotowania produkcji. Tak więc w rzeczywistości to rewolucja w sposobie przygotowania produkcji, a nie nowe wizje kreatorów mody stały się główną przyczyną tak gruntownej zmiany kształtów otaczających nas wyrobów.

Kolejnym bardzo istotnym etapem procesu projektowo-konstrukcyjnego jest obecnie modelowanie działania kompletnego wirtualnego wyrobu na podstawie zaprojektowanych wcześniej części składających się na dany podzespół, zespół, czy też kompletne urządzenie. Konstruktor wczytuje poszczególne części i pozycjonuje je względem siebie, wprowadzając wiążące je więzy. Następuje kompletowanie fragmentów lub też całych urządzeń (rys. 3a).

Narzucone więzy uwzględniają występujące pomiędzy elementami tolerancje i pasowania. Wirtualne „zmontowanie” urządzeń, zespołów, czy też podzespołów pozwala więc na przeprowadzenie analizy projektowanego wyrobu pod względem kinematycznym. Możliwe staje się przetestowanie działania całego układu na etapie symulacji komputerowej. Często umożliwia to uniknięcie badań przy zastosowaniu prototypów. Przygotowanie produkcji staje się więc znacznie krótsze, a mimo to, dzięki możliwości przetestowania znacznie większej liczby możliwych rozwiązań, prowadzi do uzyskania znacznie lepszych efektów.

Przeprowadzenie analizy pracy projektowanych rozwiązań pozwala na oszacowanie obciążeń i wymuszeń oddziałujących na poszczególne elementy projektowanych urządzeń. Możliwa staje się analiza stanu naprężeń i odkształceń projektowanych wyrobów przy zastosowaniu np. metody elementów skończonych (rys. 3b). Możliwe staje się dokładne ich zaprojektowanie, tak by w optymalny sposób spełniały postawione przed danymi elementami zadania.

Współczesne systemy projektowe są wyposażone w wyspecjalizowane moduły, które umożliwiają szybką analizę wielu wariantów rozwiązania konstrukcyjnego danego wyrobu, zwymiarowanego parametrycznie nakierowaną na wybór optymalnych skojarzeń parametrów wymiarowych. Możliwy staje się bardzo szybki przegląd możliwych rozwiązań konstrukcyjnych pod kątem wyboru wariantu optymalnego. W znaczący sposób podnosi to jakość projektowanych rozwiązań konstrukcyjnych.

Metodami symulacji komputerowych można próbować zamodelować zjawiska występujące w strefach kontaktu stykających się ze sobą elementów, co może prowadzić do poprawy zachowania się danych wyrobów podczas eksploatacji. Można również optymalizować procesy formowania wyrobów otrzymany

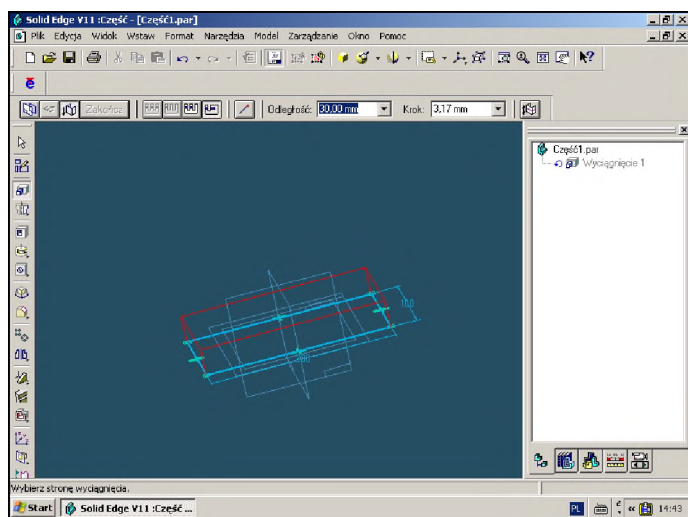
na drodze obróbki, czy też odkształcenia plastycznego. Wspecjalizowane programy modelują procesy formowania wyrobów metodami odlewania, czy też wtryskiwania tworzyw sztucznych. Przeprowadzenie analiz symulacyjnych opisujących zespół zjawisk zachodzących podczas formowania warstwy wierzchniej wyrobów może stanowić punkt wyjścia do optymalizacji parametrów technologicznych obróbki.

Istotne zmiany zaszły w ostatnich latach również na etapie komputerowo wspomaganego przygotowania technologii obróbki [Tubielewicz, Zaborski 2005 : 261–268]. Ten etap komputerowo wspomaganego przygotowania produkcji to z reguły wykonanie komputerowej symulacji procesu obróbki pozwalające na skorygowanie ewentualnych pomyłek oraz wygenerowanie i wyprowadzenie kodu sterującego obrabiarkę sterowaną numerycznie. Kod ten generowany jest do pliku tekstowego. Jeżeli komputer połączony jest bezpośrednio z obrabiarką, to właściwie skonfigurowany moduł eksportu umożliwi jego bezpośrednie przekazanie na wybraną obrabiarkę. Wraz z kodem możliwe jest również wygenerowanie dokumentacji umożliwiającej poprawne przygotowanie obrabiarki do pracy. W dalszej części opracowania przedstawiono przykładowy proces wdrożenia do produkcji stosunkowo prostego wyrobu – obudowy przekładni. Opis i omówienie tego przykładu pozwoli na pełniejsze zilustrowanie roli modelowania komputerowego i symulacji procesu obróbki we współczesnym, komputerowo wspomaganym procesie przygotowania produkcji.

2. Przygotowanie projektu wyrobu

Jak już wspomniano, punktem wyjścia do komputerowo wspomaganego opracowania procesu produkcyjnego stać się musi opracowanie wirtualnego modelu wyrobu planowanego do produkcji. Rozwój technik komputerowych, jaki dokonał się w ostatnich dekadach, umożliwił powstanie zaawansowanych programów CAD do tworzenia profesjonalnej dokumentacji technicznej. Rozpoczął się proces zastępowania konwencjonalnych, ręcznych technik rysowania znacznie bardziej efektywnymi technikami grafiki komputerowej. Ogromny wzrost wydajności i dostępności komputerów, jaki dokonał się w ostatnich kilku latach, zaowocował powstaniem nowej kategorii aplikacji programów do modelowania 3D. Przy użyciu tego oprogramowania projektuje się z założenia trójwymiarowe obiekty, które mogą być bazą nie tylko dla tworzenia dwuwymiarowej dokumentacji technicznej, ale również punktem wyjścia do obliczeń wytrzymałościowych (np. przy zastosowaniu metody elementów skończonych), czy też do opracowania technologii obróbki i wygenerowania kodów sterujących dla obrabiarek sterowanych numerycznie. Jeszcze kilkanaście lat temu inżynier, który chciał stosować w swojej pracy oprogramowanie wspomagające projektowanie, miał do wyboru albo duże i drogie systemy typu CATIA, Pro/ENGINEER,

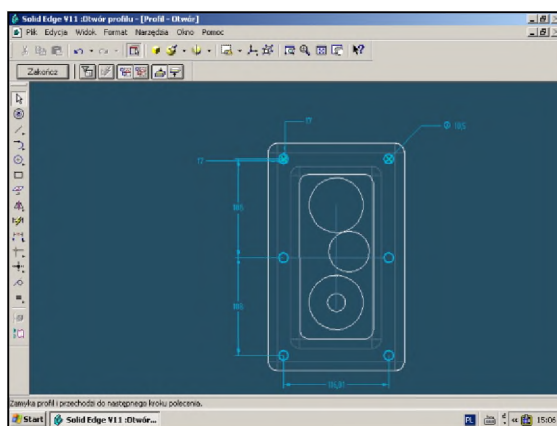
I-deas czy Unigraphics, albo tańsze i bardziej dostępne oprogramowanie 2D typu AutoCAD, czyli w praktyce elektroniczne deski kreślarskie. Skrót CAD w ich przypadku oznaczał raczej komputerowe wspomaganie rysowania (*drafting*) niż projektowania (*design*). W latach dziewięćdziesiątych nastąpił bardzo szybki wzrost wydajności komputerów osobistych. Parametry komputerów PC osiągnęły taki poziom, że zaczęto rozważać możliwości stworzenia programów CAD pracujących w środowisku Windows, które oferowałyby stosunkowo duże możliwości projektowania 3D za przystępną cenę. Systemami takimi stały się powszechnie dostępne systemy np. Solid Edge (rys. 4), Solid Works, czy Inventor. Programy te z założenia umożliwiają prowadzenie prac projektowych na modelu bryłowym (3D).



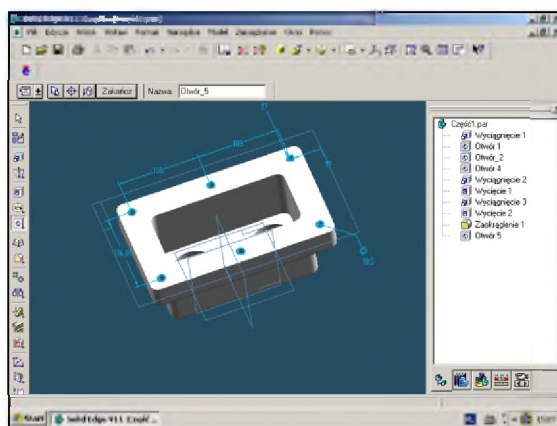
Rys. 4. Tworzenie przestrzennego wyciągnięcia płaskiego zarysu

Dla zobrazowania sposobu współczesnego przygotowania projektu, niezbędnego do przygotowania produkcji wybranego elementu w jednym z wyspecjalizowanych programów CAD przeznaczonych do projektowania 3D, przedstawiono pokrótce proces wykonania projektu obudowy przekładni przy zastosowaniu programu Solid Edge. Solid Edge jest oprogramowaniem z grupy programów CAD – oznacza to, że nie posiada on modułu służącego do analiz i symulacji wspomagających wytwarzanie. Może on jednak współpracować z wyspecjalizowanymi aplikacjami przeznaczonymi do wymienionych zastosowań. Dzięki temu pojawiła się możliwość zastosowania programu Solid Edge jako podstawy kompleksowego rozwiązania CAD/CAM/CAE, obejmującego wszystkie fazy projektu i wytwarzania produktu. Program ten służy do wykonywania przestrzennych (3D) modeli pojedynczych części i zespołów oraz opracowywania na ich podstawie płaskiej (2D) dokumentacji technicznej. Rozpoczęcie pracy

z programem odbywa się w module przeznaczonym do modelowania pojedynczych części. Rysowanie rozpoczyna się od wyboru płaszczyzny odniesienia, na której rysuje się płaski zarys projektowanego elementu. Po jego rozciągnięciu na ekranie pojawia się pierwszy zarys tworzonego trójwymiarowego obiektu. Ten etap pracy projektanta ilustruje rys. 4. Kolejną czynnością prowadzącą do wykonania prezentowanej obudowy było wykonanie otworów na łożyska i otworów mocujących w dolnej części elementu (rys. 5). Wykonane zostają również niezbędne wycięcia i zaokrąglenia kształtu projektowanej obudowy. Otrzymany na tym etapie kształt projektowanej części ilustruje rys. 6.

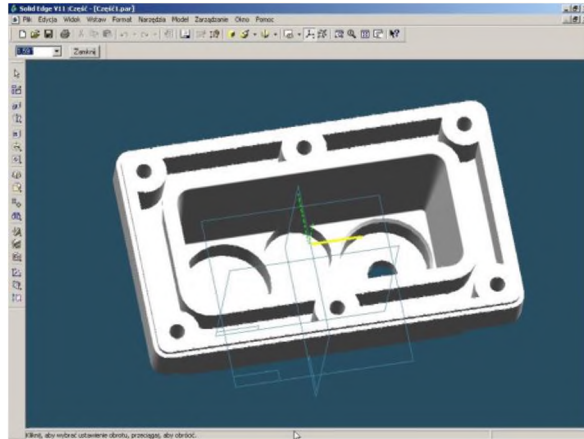


Rys. 5. Rozmieszczenie otworów na płaszczyźnie podstawy



Rys. 6. Wycięcie otworów w obudowie przekładni

Po wykonaniu niezbędnych pochyleń ścianek i wybrań w materiale podstawy projektowanej obudowy otrzymuje się ostateczną postać projektowanego elementu przedstawioną na rys. 7.



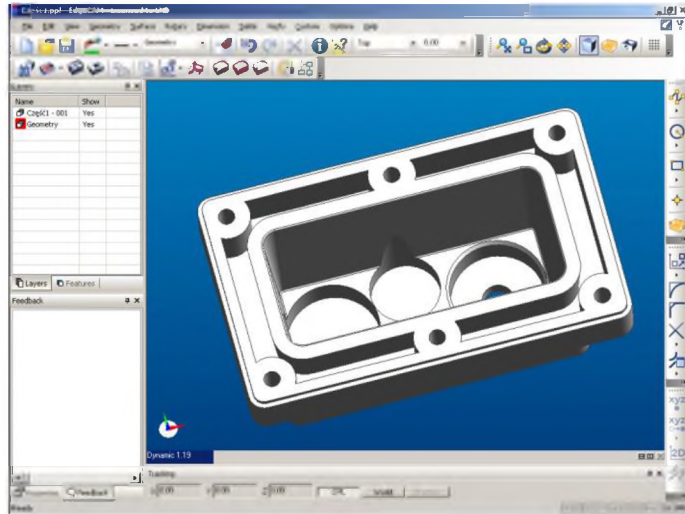
Rys. 7. Gotowy model 3D projektowanej obudowy przekładni

Otrzymany trójwymiarowy projekt może stać się punktem wyjścia do opracowania procesu technologicznego, przy wykorzystaniu programów z grupy CAD/CAM wyspecjalizowanych w przygotowaniu technologii na obrabiarki sterowane numerycznie.

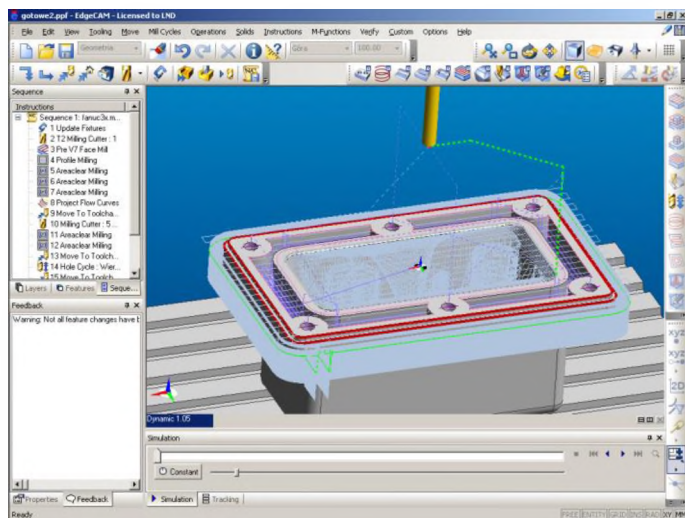
3. Komputerowe opracowanie technologii

Wykorzystywane do końca lat 90. XX wieku systemy CAD/CAM zorientowane na programowanie obrabiarek sterowanych numerycznie wyposażone były we własne moduły CAD służące do modelowania (2D lub 3D) wyrobów, dla których opracowuje się technologię. Poszczególni producenci starali się zwiększyć możliwości projektowe tych modułów. Przekonywano odbiorców, że praktycznie wszystko można zamodelować w oparciu o moduły projektowe tych systemów. Możliwość importu geometrii z innego systemu traktowana była jedynie pomocniczo. Na początku obecnej dekady zauważono, że pomimo wysiłków moduły CAD tych systemów nie mogą zapewnić takich możliwości projektowych, jak wyspecjalizowane programy CAD zaprojektowane z myślą o realizowaniu modelowania nawet najbardziej skomplikowanych części. W miejsce rozwoju możliwości tworzenia projektu, współczesne systemy CAD/ CAM mają zazwyczaj zaawansowane funkcje przeniesienia plików z profesjonalnych modelerów. Zasadniczym celem tego rozwiązania jest bezpośrednie przenoszenie modeli z programu CAD do programu CAM bez utraty danych. Obecnie sama możliwość wczytania pliku wydaje się już niewystarczająca. Dlatego producenci programów CAD/CAM

współpracujących z innymi systemami CAD starają się zapewnić asocjatywność poszczególnych etapów powstawania produktu. Znaczy to, że nie wystarczy już wczytanie kształtu części poprzez procedury importu za pomocą uniwersalnych formatów. System musi „widzieć” dany model, tak by w każdej chwili możliwe było uwzględnienie poprawek naniesionych przez konstruktora, bez potrzeby wprowadzania zmian w całym projekcie technologii. Poprawki powinny być wykonane automatycznie przez system i dotyczyć jedynie tego fragmentu procesu technologicznego, który w danym momencie uległ zmianie. Jednym z tych programów jest EdgeCAM firmy Pathrace [Augustyn 2004] służący do komputerowego wspomaganie generowania kodów sterujących i przygotowania produkcji na OSN. Współpraca tego systemu z programami CAD nie ogranicza się do biernego przejścia geometrii, ale zapewnia pełną asocjatywność wygenerowanych ścieżek z modelem wczytanym z innego programu. To znaczy, że jeżeli konstruktor pracujący na dowolnym programie CAD opartym na jądrze Parasolid lub ACIS wprowadzi zmiany w geometrii opracowanej części, to technolog nie traci nic z dotychczas podjętych działań dzięki możliwości automatycznego lub półautomatycznego rozpoznawania jej cech. Wystarczy odświeżyć połączenie z plikiem, aby zdefiniowane kieszenie, otwory, zakresy obróbki i krawędzie uaktualniły swoje parametry geometrii, a powierzchnie dostosowały się do wprowadzonych zmian. Program pracuje w dwóch trybach: modelowania (CAD) i obróbki (CAM). Program domyślnie uruchamia się w trybie modelowania 3D. Program posiada jedno zintegrowane środowisko technologiczne przeznaczone do różnych typów dostępnych w programie obróbek (np. toczenie, frezowanie). Stąd też po rozpoczęciu pracy wygodnie jest ustawić odpowiednią konfigurację pulpitu (np. w prezentowanym przykładzie *frez – bryły*) dostosowującą go do wymagań niezbędnych do poprawnego przygotowania danego procesu technologicznego. Rozpoczęcie przygotowania technologii w opisanym systemie należy rozpocząć w module CAD systemu. Jeżeli, tak jak to ma miejsce w opisywanym przykładzie, możliwości projektowe programu wydają się niewystarczające do wykonania projektu elementu bezpośrednio w module projektowym, można posłużyć się wykonanym już w programie CAD gotowym projektem 3D (rys. 7), który należy wczytać do programu. Element po wczytaniu należy w sposób właściwy ustawić, wykorzystując przy tym dostępne w programie możliwości definiowania jego obrotu i przesunięcia. Po ustawieniu należy zdefiniować w programie materiał i kształt półfabrykatu przeznaczonego do wykonania jego obróbki. Można również wczytać do programu elementy jego zamocowania. Ten etap przygotowania produkcji ilustruje rys. 8.



Rys. 8. Widok modułu CAD programu EdgeCAM po wczytaniu elementu obrabianego

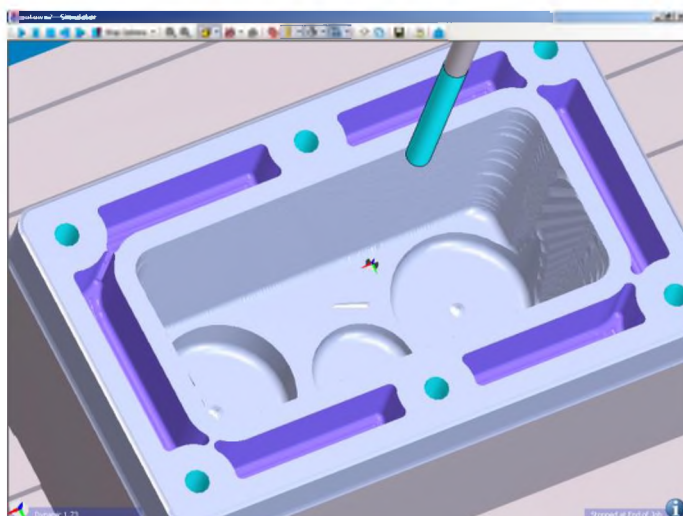


Rys. 9. Zdefiniowanie przebiegu obróbki obudowy w module technologicznym

Po wykonaniu powyższych czynności można przystąpić do opracowania technologii wykonania. Po zdefiniowaniu sekwencji obróbki obejmującej rodzaj projektowanej technologii, sposób programowania, wybór postprocesora i wskazanie położenia punktu zerowego maszyny program umożliwi rozpoczęcie pracy w module technologicznym. Po wskazaniu wczytanej geometrii stołu jako elementu, do którego zamocowany jest obrabiany detal można przystąpić do definiowania technologii. Czynności te rozpoczyna się od wyboru pierwszego

z przeznaczonych do zastosowania narzędzi z dostępnego w programie magazynu narzędzi. Wybrane narzędzie można oczywiście zmodyfikować, dostosowując je do planowanej do wykonania obróbki. Poprawnie wykonany wybór narzędzia umożliwia przejście do definiowania właściwych zabiegów obróbkowych. Po poprawnym wprowadzeniu danych potrzebnych do zdefiniowania kolejnych zabiegów program wygeneruje ścieżki przejścia narzędzia. Po zrealizowaniu każdego z zabiegów obróbkowych powinno się uruchomić tryb symulacji, by upewnić się, że został on wygenerowany w sposób poprawny. Ewentualne pomyłki można oczywiście skorygować, edytując parametry zdefiniowanych uprzednio zabiegów i czynności pomocniczych. Widok ekranu modułu technologicznego programu po zdefiniowaniu wszystkich czynności niezbędnych do wykonania obróbki jednej ze stron opisywanej obudowy przedstawia rys. 9.

Kolejnym etapem przygotowania technologii wytwarzania jest weryfikacja opracowanej technologii prowadząca do wykrycia ewentualnych kolizji narzędzia, czy też jego oprawki z materiałem obrabianym. Na tym etapie sprawdza się również poprawność przebiegu całego projektowanego procesu (rys. 10).



Rys.10. Symulacja obróbki obudowy przekładni

Poprawne wykonanie symulowanej obróbki daje duże prawdopodobieństwo, że jeśli zostanie ona przeniesiona na rzeczywistą maszynę, to będzie przebiegała również w sposób poprawny. Raport o pojawiających się w trakcie procesu symulowanej obróbki kolizjach, fragmentach zabiegów, podczas których one nastąpiły i położeniu punktów kolizji w przestrzeni roboczej pozwala na ich łatwą eliminację na drodze edycji niepoprawnie wykonanych zabiegów i czynności pomocniczych. Możliwe jest również sprawdzenie czasu trwania zarówno całej obróbki, jak i poszczególnych zabiegów i czynności. Poprawne przeprowadzenie

wirtualnej symulacji obróbki projektowanego wyrobu pozwala na wyeliminowanie znacznej części błędów, które mogłyby się pojawić podczas etapu wdrażania obróbki na rzeczywistą obrabiarkę sterowaną numerycznie.

Ostatnim etapem pracy z programem CAD/CAM jest wygenerowanie i wprowadzenie kodu sterującego obrabiarkę sterowaną numerycznie. Kod ten generowany jest do pliku tekstowego. Jeżeli komputer połączony jest bezpośrednio z obrabiarką, to właściwie skonfigurowany moduł eksportu umożliwia jego bezpośrednie przekazanie na wybraną obrabiarkę. Wraz z kodem możliwe jest również wygenerowanie dokumentacji umożliwiającej poprawne przygotowanie obrabiarki do pracy.

Podsumowanie

W opracowaniu przedstawiono rolę i znaczenie modelowania i symulacji komputerowej na wszystkich etapach kompleksowego procesu przygotowania produkcji od koncepcji poprzez rysunek, opracowanie technologii obróbki, aż do uzyskania gotowego kodu na obrabiarkę sterowaną numerycznie. Wykorzystanie w przygotowaniu produkcji współczesnych systemów CAD/CAM nie tylko znacznie przyspiesza sam proces wdrożenia nowych technologii do produkcji, ale znacznie poprawia jakość opracowanych procesów produkcyjnych. Możliwe staje się wykonywanie przedmiotów o kształtach dotychczas niemożliwych do realizacji, cechujących się przy tym znacznie poprawionymi właściwościami użytkowymi. Coraz powszechniejsze wprowadzenie do przygotowania produkcji współczesnych systemów CAD/CAM powoduje również, że wielokrotnie skrócił się czas potrzebny do wdrożenia danego wyrobu do produkcji.

Bibliografia

- Augustyn K., *EdgeCAM. Komputerowe wspomaganie wytwarzania*, „Helion”, Gliwice 2004.
- Chlebus E., *Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji*, WNT Warszawa 2000.
- Tubielewicz K., Zaborski A., *Przygotowanie produkcji przy zastosowaniu systemów CAD/CAM*. Materiały IX Szkoły komputerowego wspomaganie projektowania, wytwarzania i eksploatacji, Jurata 9–13 maja 2005, s. 261–268.
- Tubielewicz K., Zaborski A., *Dydaktyczne aspekty wykorzystania komputera w procesie przygotowania produkcji wyrobów*. Wydawnictwo książkowe: Technika – Informatyka – Edukacja. Teoretyczne i praktyczne problemy edukacji technicznej – Tom 7^o, pod red. W. Furmanka, Rzeszów 2007, s. 207–212.
- Zaborski A., Tubielewicz K., *Przygotowanie produkcji przy zastosowaniu systemów komputerowych*. Biuletyn WAT Vol. 56 nr spec. (1) 2007, s. 127–138.
- Zaborski A., Tubielewicz K., *Zastosowanie systemów CAD/CAM do komputerowo wspomaganego przygotowania produkcji*. Mechanik nr 8–9/2004, s. 588–591.