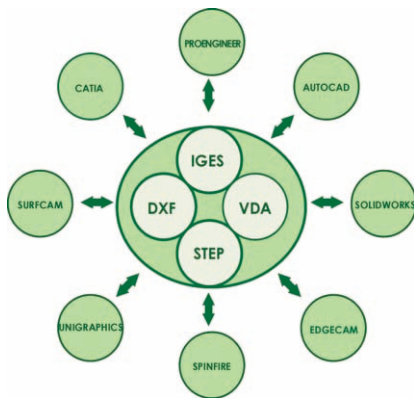


Zasady stosowania i pracy z systemami CAD/CAM w światowym przemyśle lotniczym

WŁODZIMIERZ ADAMSKI*

W światowym przemyśle lotniczym techniczne przygotowanie produkcji odbywa się przy wykorzystaniu sprzętu komputerowego i oprogramowania. Koszty pracy w świecie wirtualnym są znacznie mniejsze od kosztów pracy w świecie realnym. Zastosowanie tych metod wyznacza światowe trendy w nowoczesnym przemyśle.

Jeden z najważniejszych problemów, z jakimi spotykają się konstruktorzy na całym świecie przy elektronicznym zapisie konstrukcji, to wymiana informacji graficznych między kooperującymi zakładami oraz integracja różnych systemów komputerowych. Istnieją różne sposoby integracji systemów. Najlepszym rozwiązaniem jest wykorzystanie standardowego formatu wymiany danych. Umożliwia on współpracę wielu systemów (rys. 1). Najbardziej znane formaty wymiany danych to: **STEP** (*Standard for the Exchange of Product Model Data*) i **IGES** (*Initial Graphics Exchange Specification*) oraz **SET** (*Specifications du Standard D'Exchange et de Transfert*), **VDA-FS** i **DXF** – **AutoCad**.



Rys. 1. Wykorzystanie standardowego pakietu wymiany danych w systemach CAD/CAM

Format **STEP** został przyjęty przez Międzynarodową Organizację **ISO** jako **standardowy format wymiany danych**.

Oprogramowanie CAD/CAM i numeryczne bazy danych wyrobu

W przemyśle lotniczym i samochodowym systemy CAD/CAM są już stosowane na tyle powszechnie, że wiodące firmy opracowały procedury ściśle określające sposób postępowania podczas pracy z systemami kom-

puterowymi oraz z przetwarzaniem dużej liczby danych zapisanych w postaci elektronicznej. Są to **główne dane źródłowe** (*authority dataset*) [1], które są „czytane” przez systemy CAD/CAM. Istnieją cztery metody zapisu **głównych danych źródłowych**, które mogą zawierać:

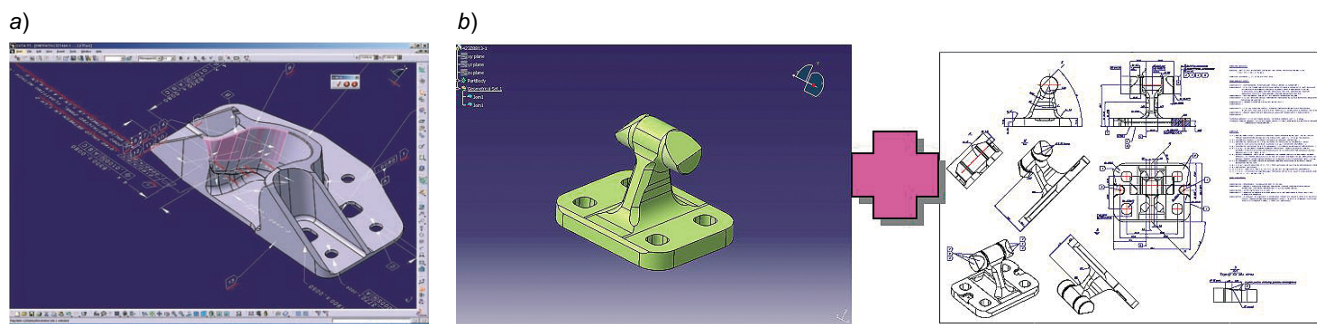
- model 3D oraz kompletny arkusz rysunkowy 2D;
- model 3D i arkusz rysunkowy 2D z wymaganiami technicznymi, ale nie ze wszystkimi wymiarami;
- tylko model 3D i wymagania techniczne – jako tekst umieszczony w obszarze modelu 3D bez arkusza rysunkowego 2D;
- tylko model 3D i wymagania techniczne – jako tekst umieszczony w obszarze modelu 3D bez arkusza rysunkowego 2D, ale z uwzględnieniem uwag, specyfikacji itp.

Wszystkie cztery metody należą do **Numerycznej Definicji Wyrobu, DPD** (*Digital Product Definition*). DPD to dane zapisane w postaci elektronicznej, które określają geometrię i wszystkie wymagania konstrukcyjne wyrobu (także uwagi i specyfikacje) oraz ich dostosowanie do zintegrowanych systemów (projektowanie, wytwarzanie i pomiary) wspomaganymi komputerowo.

Drugi przypadek jest określany jako **rysunek o niepełnych wymiarach RDD** (*Reduced Dimension Drawing*) lub **uproszczony rysunek SD** (*Simplified Drawing*). Trzeci i czwarty przypadek jest nazywany **Bazową Definicją Modelu MBD** (*Model Based Definition*). Procedury opracowane [1] przez duże firmy (Boeing) mają pomóc kooperantom w przepływie informacji elektronicznej podczas całego procesu wytwórczego wyrobu (od opracowania konstrukcji i technologii, poprzez przeprowadzenie symulacji komputerowych, wykonanie oprzyrządowania i części na maszynach CNC, do wykonania pomiarów na współrzędnościowych maszynach pomiarowych).

W przeszłości do opisanego części używano rysunków 2D (z wymiarami geometrycznymi i tolerancjami), później zaczęto stosować modele 3D (rysunki 2D z rzutami i wymiarami geometrycznymi, tolerancjami – metoda stosowana także dzisiaj) – rys. 2b. Przyszłość należy jednak do bazowej definicji modelu MBD, w którym jest jeden plik główny zawierający informacje geometryczne 3D oraz wymiary i tolerancje **GD&T** (**Geometry Dimensions & Tolerancing**), a także funkcję warsztatową **FT & A** (**Functional Tolerancing & Annotation**) – rys. 2a.

Definicja bazowa modelu zawiera więc: jeden systemowy plik, geometrię 3D modelu, informację GD & T wraz



▲ Rys. 2. Przykład Numerycznej Definicji Wyrobu DPD: a) model 3D i wymagania techniczne jako tekst umieszczony w obszarze modelu 3D bez arkusza rysunkowego 2D, b) modele 3D razem z rysunkami 2D z rzutami i wymiarami geometrycznymi, tolerancjami

* Dr inż. Włodzimierz Adamski – Polskie Zakłady Lotnicze Sp. z o.o. Sikorski AC

z uwagami i przypisami, takimi jak: bazowy układ współrzędnych, wymiary, tolerancje, symboliczne przypisy o lokalnym znaczeniu (*flag notes*) i przypisy techniczne odnośnie do materiału, chropowatości powierzchni, masy oraz uwagi ogólne.

Bazowa definicja modelu MBD umożliwia konstruktorom i projektantom wprowadzenie do modelu 3D wszystkich niezbędnych informacji (zostają wyeliminowane rysunki 2D).

Daje to następujące korzyści:

- skrócenie czasu od zaprojektowania do wykonania części;
- zmniejszenie liczby stworzonych i zapamiętanych danych dla danej części,
- zwiększenie dokładności produkcji poprzez użycie pojedynczych obiektów dla wszystkich informacji projektowych, warsztatowych i kontrolnych,
- zwiększenie dostępu do danych przez wszystkie działy firmy,
- konstruktorzy nie muszą tworzyć dokumentacji 2D,
- zmniejszenie drukowanej dokumentacji papierowej,
- łatwiejsze wprowadzanie i zarządzanie zmianami konstrukcyjnymi.

Największą zaletą wynikającą z wdrożenia MBD jest wyeliminowanie rysunków 2D na papierze.

Tworzenie danych dla bazowej definicji modelu MBD

MBD umożliwia określenie i zmodyfikowanie środowiska konstrukcyjnego, tak aby dodanie informacji warsztatowych i kontrolnych do modelu 3D uwzględniało specyfikę i najlepsze rozwiązania firmowe. W celu przeprowadzenia tego procesu należy:

- oszacować zakres zastosowania bazowej definicji modelu MBD;
- przygotować zarządzanie systemem CAD/CAM;
- wdrożyć bazową definicję modelu MBD dla systemu CAD/CAM;
- przygotować plan rozwoju najlepszych praktyk dla FT&A w poszczególnych obszarach firmy;
- przeprowadzić szkolenie w zakresie MBD dla systemu CAD/CAM.

System Zapewnienia Jakości dla Numerycznej Definicji Wyrobu

Do określenia prawidłowości stosowania w produkcji i kontroli integralności systemu informatycznego firma Boeing wprowadziła procedurę *Zapewnienia Jakości dla Numerycznej Definicji Wyrobu dla Kooperantów Boeinga D 6-51991*. Są tam zawarte wszystkie wymagania, jakie należy spełnić, aby być kwalifikowanym dostawcą Boeinga. Jednym z kluczowych wymagań jest weryfikacja i nadzór nad stosowanym oprogramowaniem tzw. Akceptacja Oprogramowania Wyrobu **PAS (Product Acceptance Software)** [1]. Polega ona na wprowadzeniu pełnego nadzoru i kontroli nad wszelkim oprogramowaniem stosowanym w całym procesie produkcji.

W celu utrzymania konfiguracji zbiorów danych DPD, kontrolujących wyposażenie produkcyjne i przyrządy, wszystkie nośniki utworzone na podstawie tych zbiorów muszą zawierać czytelną identyfikację nazwy zbioru, poziom zmian i dodatkową, unikalną identyfikację klienta.

Te wymagania odnoszą się do:

- komputerowego systemu pomiarowego (CMS);
- oprogramowania i zbiorów danych CAD/CAM;
- oprogramowania do analizy danych;
- zbiorów danych otrzymywanych od klienta;
- standardowego pakietu wymiany danych IGES, STEP.

Oprogramowanie CAM i zbiory danych muszą mieć widoczny poziom zmiany i muszą być bezpośrednio powiązane ze zbiorem danych DPD, które zostały wykorzystane do utworzenia danych pochodnych (*są to wszystkie dane utworzone z lub na podstawie głównych danych źródłowych*).

Poziom wersji oprogramowania oraz zbiory danych CAM muszą być zapisywane w każdym raporcie z testów wykonywanym dla walidacji opracowanego oprogramowania i zbiorów danych. Także raport z wykonania pierwszej sztuki musi wymieniać oprogramowanie CAM i zbiory danych oraz poziom zmian, jaki był zastosowany przy wykonaniu wyrobu. Wszystkie zmiany wprowadzone do oprogramowania i zbiorów danych CAM muszą w rezultacie spowodować realizację tej zmiany (wzrost poziomu zmiany). Niezależnie od dostawcy, oprogramowanie PAS będzie przechodziło proces walidacji przed jego wprowadzeniem.

Po zweryfikowaniu (zgodnie z procedurami „Plan walidacji PAS”) i zaaprobowaniu przez kierownika jakości oprogramowania CAM i zbiorów danych numerycznych można je zastosować do akceptacji wyrobu PAS[1].

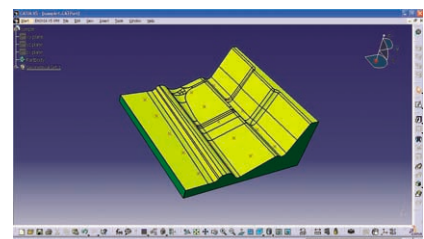
Przestarzałe wersje oprogramowania są usuwane i niedostępne, bieżąca (aktualna) wersja – kopia wzorcowa jest bezpiecznie przechowywana (zabezpieczona hasłem). Programista musi wykonywać kopie akceptowanej, bieżącej wersji PAS i przechowywać je w oddzielnym miejscu.

Sposób postępowania podczas akceptacji nowych wersji oprogramowania:

- wgrać nową wersję oprogramowania jako drugą,
- otworzyć dwa programy, a w nich model zawierający wiele informacji (*geometrycznych, testowych wraz z „rozwinętym drzewem” struktury modelu*),
- sprawdzić, czy wszystkie informacje odwzorujące starą wersję programu są odtworzone w nowej wersji,
- sprawdzić, czy rysunki tej części wygenerowane w starej i nowej wersji zawierają te same informacje i czy wymiary, kształt powierzchni itp. nie ulegają zmianie,
- po fizycznym wykonaniu dowolnej części sprawdzić oraz porównać wyniki pomiarów wykonane według starej i nowej wersji programu,
- po uzyskaniu pozytywnych efektów tej analizy podpisany jest raport z pomiarów przez inspektora maszyny pomiarowej, konstruktora i technologa.

Są dwie metody wiarygodnej weryfikacji translacji lub transmisji danych z jednego do drugiego systemu CAD/CAM:

- metoda chmury punktów,
 - analiza przestrzenna DMU.
- W celu dokonania prawidłowej translacji należy:
- utworzyć numeryczny model powierzchni,
 - nałożyć siatki punktów na model przed translacją (rys. 3),



Rys. 3. Metoda weryfikacji danych za pomocą „chmury punktów”

- dokonać translacji tego modelu do drugiego systemu CAD/CAM,
- wykonać pomiary i określić dokładność w stosunku do wzorca.

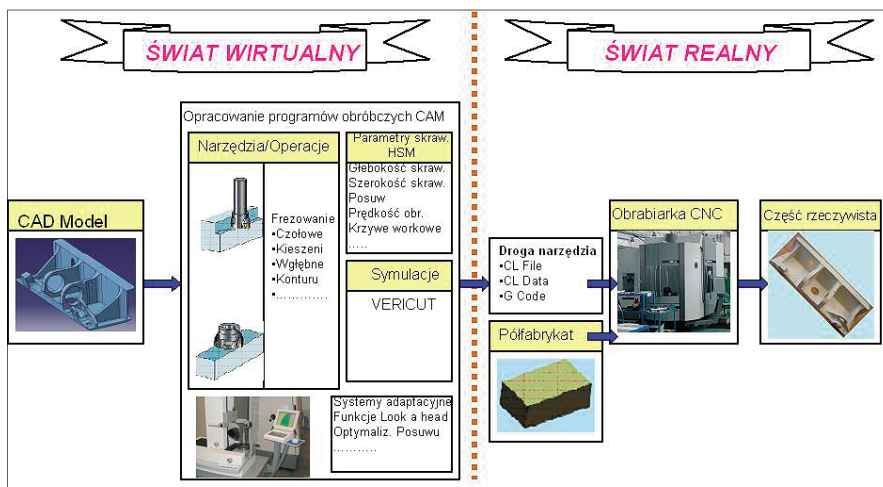
W celu osiągnięcia akceptowanego rezultatu podczas walidacji konwersji danych z systemu CAD/CAM do własnych wewnętrznych systemów, konieczne jest dokonanie weryfikacji procesu zatwierdzania przekształcenia kompletów danych.

Stosowane systemy CAD/CAM oraz dane elektroniczne związane z numeryczną bazą danych wyrobu mają swoje procedury dotyczące systemu zapewnienia jakości. W tych procedurach są opisane przepływy informacji w całym procesie wykonania wyrobu.

Firmy przemysłu lotniczego w ciągu wielu lat wypracowały standardy pracy z systemami CAD/CAM. Standaryzacja obejmuje takie zagadnienia, jak:

- organizacja warstw;
- zasady nazewnictwa i numerowania nowych projektów;
- zasady tworzenia rysunków;
- zasady tworzenia modeli 3D;
- zasady tworzenia modeli części wykonywanych na obrabiarkach CNC;
- oznaczenia, uwagi, tolerancje;
- układ bazy, lokalny.

W przemyśle lotniczym przed uruchomieniem produkcji seryjnej jest wymagane wykonanie pierwszej sztuki tzw. **FAI (First Article Inspections)**. Pierwsza sztuka podlega specjalnemu nadzorowi i musi być wykonana zgodnie z elektroniczną dokumentacją konstrukcyjną, bez jakichkolwiek odstępstw (rys. 4). Dopiero takie wykonanie pierwszej sztuki zezwala na rozpoczęcie produkcji seryjnej. W metodologii MBD kontrolę pierwszej sztuki FAI przeprowadza się w czterech etapach:



Rys. 4. Przygotowanie produkcji i wykonanie dobrej części za pierwszym razem

- *wczytanie modelu 3D* – zaimportowanie modelu CAD do programu pomiarowego (STEP, IGES);
- *ustawienie* – zastosowanie oprogramowania pomiarowego, ustawienie baz, układu pomiarowego;
- *dokonywanie pomiaru* – bezpośredni pomiar poszczególnych cech części i porównanie z wczytanym modelem;
- *tworzenie raportu* – obecne systemy tworzą raporty na podstawie danych nominalnych, takich jak FT&A lub GD&T.

Dzisiaj w światowym przemyśle lotniczym techniczne przygotowanie produkcji odbywa się przy wykorzystaniu sprzętu komputerowego i oprogramowania (rys. 4).

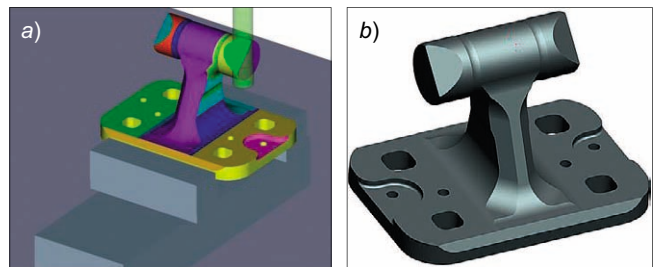
Dzięki temu koszty pracy wykonania skomplikowanych elementów (rys. 5) są znacznie mniejsze.

Szybsza, wydajniejsza i odpowiedzialna produkcja z wymaganą jakością w systemie CNC, z wykorzysta-



Rys. 5. Przykłady integralnych części lotniczych

niem technologii obróbki HSM, wymaga zastosowania komputerowego wspomaganie wytwarzania CAM i komputerowego wspomaganie projektowania CAD [3]. W większości przypadków systemy CAM pracują w jednym środowisku z systemami CAD.



Rys. 6. Część: a) jako wynik symulacyjnej obróbki wirtualnej; b) część rzeczywista wykonana na maszynie CNC

PZL Mielec posiada wirtualne modele wszystkich swoich nowoczesnych obrabiarek CNC wraz z oprawkami, narzędziami, imadłami i przyrządami. Wirtualne sprawdzanie programów obróbkowych w systemie do symulacji obróbki stało się już obowiązującą praktyką (rys. 6). Dodatkową zaletą tego systemu jest „tania” edukacja operatorów maszyn CNC na wirtualnych maszynach CNC.



W przyszłości sukces odniosą firmy stosujące bazową definicję modelu MBD, w których istnieje jeden plik główny, zawierający informacje geometryczne 3D w powiązaniu z tolerancjami GD&T i FT&A. Im

więcej pracy wykona się w świecie wirtualnym, tym koszty z wdrożenia nowej produkcji będą mniejsze i prawdopodobieństwo wykonania pierwszej dobrej sztuki za pierwszym razem znacznie się zwiększy.

LITERATURA

1. Boeing Company – D6-51991 REV I Quality Assurance Standard For Digital Product Definition At Boeing Suppliers. January 2007.
2. P. GU, CHAN KAM: Product modeling using STEP. *CAD Volume* 27 No 3, March 2008.
3. W. ADAMSKI: Wybrane kierunki zwiększenia wydajności procesów skrawania. *Mechanik*, 82, 5-6, 2009, s. 540 ÷ 546.
4. D. ANDERSON: Introduction to Model Based Definition. *Automotive Workshop COE* November 6, 2009.
5. W. ADAMSKI: Manufacturing Development Strategies in Aviation Industry. 5th International Conference on Advances In Production Engineering APE 2010 June 2010 (p. 97 ÷ 106). ■