

Problemy integracji programów CAM i obrabiarek sterowanych numerycznie

ADAM ZALEWSKI*

W artykule opisano przykłady niedopasowania CAM i CNC, problemy symulacji pracy obrabiarek CNC oraz trudności z wdrożeniem CAM na warsztacie. Realizowana przez autora od 11 lat współpraca z przemysłem w zakresie szkoleń i wdrożeń CAM oraz związana z opracowaniem wielu postprocesorów (służących do zamiany uniwersalnego zapisu obróbki w programie CAM na format programu sterującego dla konkretnej OSN) doprowadziła do opracowania koncepcji tzw. Integratora CNC/CAM (układu spełniającego funkcję sprzężenia zwrotnego między CNC i CAM) [3]. Praca ma charakter rozwojowy.

Większość obrabiarek sterowanych numerycznie (CNC) na świecie pracuje w oparciu o programy komputerowo wspomaganego wytwarzania (CAM). Takie podejście umożliwia skrócenie czasu przygotowania programu sterującego, stosowanie efektywnych strategii ruchu narzędzia, optymalizację parametrów obróbki (a_p , a_e , posuw, prędkość obrotowa), a także innych cech obróbki wpływających na trwałość narzędzia (N) czy jakość powierzchni po obróbce.

Wydaje się, że duże możliwości techniczne CAM są tylko częściowo wykorzystane na obrabiarkach CNC, zaś zaawansowane mechatronicznie maszyny CNC nie pracują na 100% swoich możliwości, wykonując programy opracowane w CAM. Oprogramowanie CAM dostarczane przez wielu producentów w wielu odmianach jest rozwiązaniem uniwersalnym, które odniesie tym większy sukces rynkowy, im więcej różnych maszyn CNC będzie w stanie obsłużyć. Z kolei obrabiarki CNC są rozwiązaniami specjalizowanymi, które występują w wielu wersjach, mają wiele parametrów i funkcji konfigurowanych na potrzeby konkretnego użytkownika. Dostarczone od tego samego producenta różnią się rozwiązaniami napędów, układów konstrukcyjnych, wersjami układów sterowania i parametrami ustawianymi przez serwis, czy trybem pracy wybieranym przez użytkownika.

Biorąc pod uwagę coraz bardziej skomplikowaną budowę OSN oraz coraz bardziej zaawansowane oprogramowanie CAM, prawidłowe dopasowanie obu tych elementów ma kluczowe znaczenie [9]. Opisany Integrator CNC/CAM ma wspomagać proces dopasowania CNC i CAM oraz zmniejszać negatywny wpływ tzw. „czynnika ludzkiego”, zwłaszcza w okresie wdrożenia CAM na warsztacie.

Niedopasowanie OSN i CAM

Wielu niedogodnościom we współpracy obrabiarek CNC i CAM trudno zapobiegać. Oto typowe przykłady:

- **straty czasu związane z dojazdem i wycofaniem narzędzia (N)**. Wysoka dynamika pracy napędów CNC umożliwia redukcję czasu ruchów kształtowania oraz ruchów pomocniczych. Teoretycznie dojazd N do przedmiotu obrabianego (PO) może odbywać się z dowolną prędkością, dopóki nie pojawi się między nimi kontakt. W praktyce pozostawia się drogę dobiegu N do PO rzędu kilku mm nad materiałem; N pokonuje ją z małym posuwem. Odsunięcie to spowodowane jest możliwą różnicą między teoretycznym a rzeczywistym wymiarem półfabrykatu oraz wynika z wiedzy i doświadczenia operatora CNC (niebezpieczeństwo kolizji). Efekt ten ma małe znaczenie, gdy dojazd N do PO odbywa się sporadycznie lub prostopadle do materiału. W przypadku dochodzenia narzędzia pod kątem (stycznie, śrubowo, o nachyleniu zwykle $2 \div 3^\circ$) droga narzędzia, nawet przy odsunięciu o 1 mm wzdłuż osi narzędzia, faktycznie wynosi $28 \div 19$ mm. W przypadku obróbki związanej z często przerywanym kontaktem N i PO , nieefektywny czas przeznaczony na dojazd N do PO może wynosić nawet kilkadziesiąt procent czasu obróbki;

- **wirtualna symulacja pracy obrabiarki CNC nie uwzględnia dynamiki maszyny, jej dokładności geometrycznej ruchowej**. Zdecydowana większość programów symulujących pracę CNC w tzw. wirtualnej rzeczywistości (VR) znakomicie przedstawia kinematykę procesu wytwarzania (poruszając obiektami o zerowych masach), nie wkraczając w obszar dynamiki maszyny (choć podejmowane są próby [6, 8]). Powoduje to m.in. istotne różnice w teoretycznych i rzeczywistych czasach obróbki;

- **trudności symulacji cykli i specjalnych funkcji maszynowych w trybie off-line**. Układy sterowania obrabiarek CNC mają wiele funkcji specjalizowanych pod kątem konkretnego typu użytkowników. Interfejs użytkownika i rozbudowana funkcjonalność US (umożliwiająca szybkie i krótkie definiowanie typowych zabiegów) nastawione są raczej na ręczną obsługę operatora, niż na współpracę z programem CAM. Coraz częściej praktyka warsztatowa zmusza jednak projektanta CAM do posługiwania się wyrafinowanymi cyklami i funkcjami specjalnymi bezpośrednio z poziomu programu CAM. Zaletą jest wtedy krótki program sterujący (**NC**), podatny na łatwą modyfikację przez operatora bezpośrednio na obrabiarce. Ze względu na różnorodność sposobów zapisu cykli i funkcji specjalnych, pojawiają się problemy w programie CAM z ich interpretacją, symulacją i weryfikacją obróbki;

- **brak aktualnej informacji o dostępności, numeracji i parametrach narzędzi w magazynie obrabiarki CNC**. Przygotowanie technologii w programie CAM i opracowanie programu NC odbywa się w trybie off-line. Lista narzędzi, ich aktualna numeracja w magazynie narzędzi obrabiarki (deklaracje w tablicy narzędzi) są ustalane przez projektanta CAM i przekazywane operatorowi lub opracowywane są przez projektanta CAM na podstawie danych od operatora. W obu przypadkach może nastąpić przekłamanie, którego konsekwencje mogą być zweryfikowane jedynie na OSN;

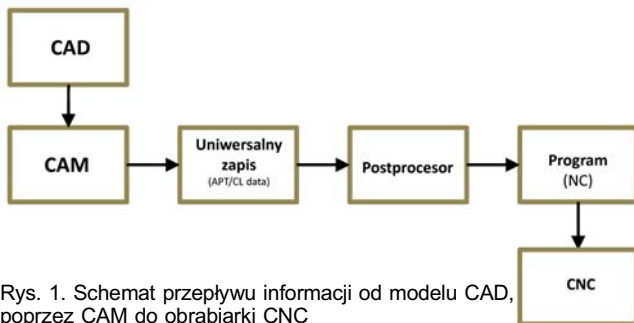
* Dr inż. Adam Zalewski – Zakład Automatyzacji Obrabiarek i Obróbki Skrawaniem (ZAOIOS) Instytut Technik Wytwarzania Politechniki Warszawskiej

- **trudności w pozyskaniu przez CAM kompletnych informacji o parametrach konfiguracyjnych obrabiarki CNC.** Przebieg obróbki zależy od konfiguracji kinematycznej maszyny (kierunki, zwroty, koordynacja i zakresy ruchu osi), możliwości dynamicznych, rodzaju i parametrów konfiguracyjnych CNC oraz programu NC. Brak aktualnej informacji o położeniu punktów charakterystycznych związanych z ruchem N (punkty bazowe, pozycja wymiany N , aktualna pozycja podtrzymek, konika, innych ruchomych elementów OSN, takich jak np. elementy mocowania PO , położenie sondy narzędziowej i in.) jest szczególnie niebezpieczny podczas ruchów szybkich, zwłaszcza dla układów wieloosiowych;

- **optymalizacja parametrów off-line w CAM nie jest 100% efektywna.** Szeroki wachlarz strategii obróbkowych i możliwości optymalizacji parametrów, jakie są dostępne w trybie off-line programowania obróbki, jest weryfikowany doświadczalnie dopiero podczas obróbki. O ile w produkcji seryjnej podejmuje się coraz częściej wysiłek zwiększania efektywności obróbki – biorąc pod uwagę takie parametry, jak: minimalny czas realizacji zlecenia, jakość powierzchni po obróbce, trwałość i cena narzędzi, sztywność układu, parametry dynamiczne obrabiarki CNC itd. – o tyle przy produkcji jednostkowej (np. w narzędziowni) brakuje na to czasu. Dotyczy to szczególnie przypadków:

- ✦ doboru parametrów skrawania w oparciu o materiał i geometrię narzędzia, materiał przedmiotu obrabianego oraz warunki skrawania [8];
- ✦ porównania wydajności obróbki przy zastosowaniu różnych strategii ruchu N [1, 2, 6].
- ✦ dynamicznej optymalizacji parametrów skrawania w odniesieniu do aktualnych warunków skrawania [5, 7]
- ✦ zastosowania obróbki specjalnej [2, 7];

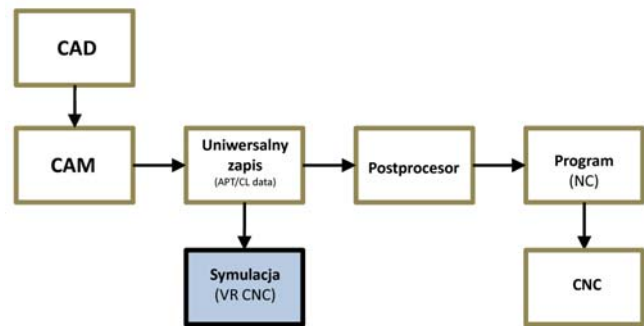
- **długi okres wdrożenia CAM do współpracy z obrabiarkami CNC.** Powiązanie uniwersalnego programowania CAM z konkretną maszyną CNC realizuje postprocesor (rys. 1).



Rys. 1. Schemat przepływu informacji od modelu CAD, poprzez CAM, uniwersalny zapis (APT/CL data), postprocesor, Program (NC) do CNC.

W okresie dopasowywania postprocesora do konkretnej obrabiarki CNC szczególne znaczenie ma symulacja pracy CNC. Symulacja pracy CNC może być realizowana na kilka sposobów [4]:

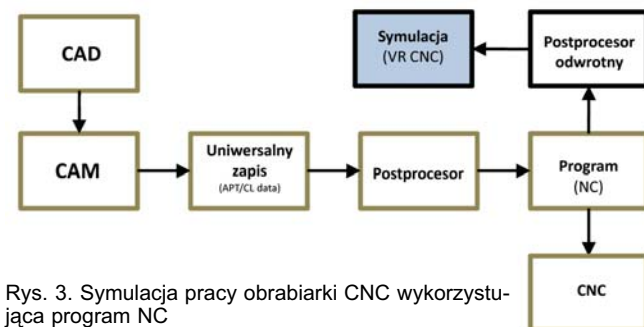
- pierwszy wykorzystuje uniwersalny zapis obróbki (APT/CL data), który jest wewnętrznym formatem danych programu CAM (rys. 2). Zwykle efektywna symulacja ubytkowa, posługuje się jednak zawsze tym samym formatem danych wejściowych, niezależnie od typu obrabiarki CNC (ewentualnie uwzględnia jej konfigurację kinematyczną). Jest to rozwiązanie najprostsze, uniwersalne i przez to popularne. *Wada:* symulacja całkowicie pomija wpływ postprocesora. Ewentualne błędy pracy postprocesora nie będą pokazane na symulacji. Nie ma więc



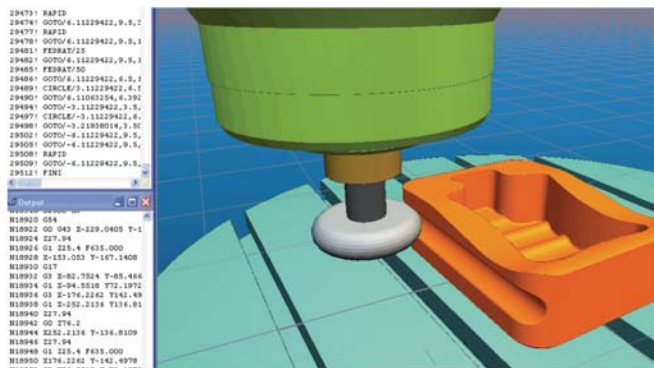
Rys. 2. Symulacja pracy obrabiarki CNC wykorzystująca uniwersalny zapis obróbki (APT/CL data)

gwarancji, że obrabiarka CNC zrealizuje obróbkę tak samo, jak pokazała to symulacja;

- drugi wykorzystuje tzw. postprocesor odwrotny (rys. 3). Symulacja ruchu maszyny odbywa się na podstawie programu NC, który może być potem uruchomiony na CNC. Dostawcy programów symulacyjnych oferują biblioteki gotowych postprocesorów odwrotnych. Zastosowanie ich daje szansę poprawnej analizy ruchu, jednak pewność pojawia się dopiero po skonfrontowaniu konfiguracji programu z parametrami maszyny i dokonaniu



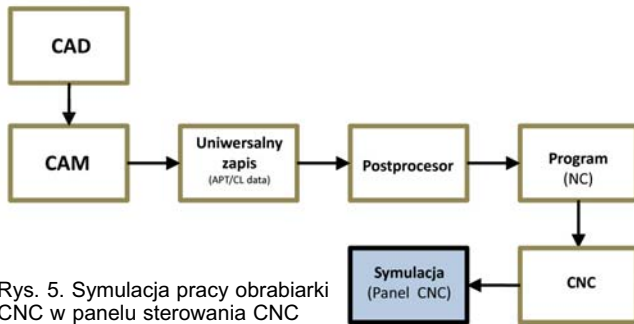
Rys. 3. Symulacja pracy obrabiarki CNC wykorzystująca program NC



Rys. 4. Przykład symulacji pracy obrabiarki CNC wykorzystujący program NC (lewy dół). W lewym górnym rogu widoczny uniwersalny zapis (APT/CL data)

testów na maszynie. Ciekawym podejściem jest możliwość automatycznego skonfigurowania postprocesora odwrotnego na podstawie postprocesora przygotowanego w specjalnym środowisku do projektowania postprocesorów (np. IMS Post). W każdym przypadku jakość symulacji zależy od prawidłowości postprocesora odwrotnego i dokładności definicji wirtualnej OSN;

- trzeci sposób symulacji dotyczy uruchomienia programu NC na obrabiarkę CNC w trybie symulacji (rys. 5). W odróżnieniu od poprzednich, symulacja ta powinna



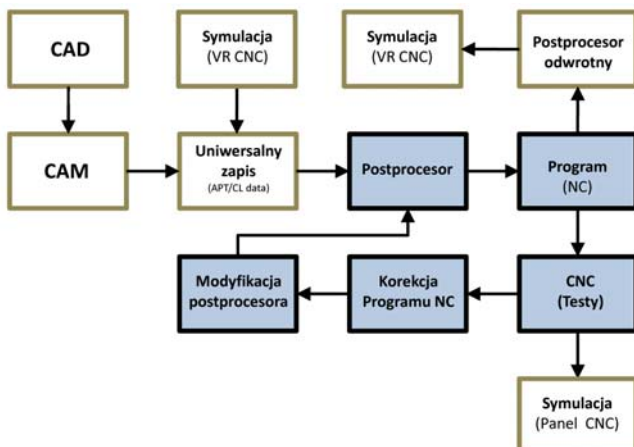
Rys. 5. Symulacja pracy obrabiarki CNC w panelu sterowania CNC

uwzględniać prawidłowe wymiary narzędzi i punkty bazowe. *Wada:* symulacja przebiega już po opracowaniu programu NC; korekty programu wymagają w zasadzie powrotu do programu CAM. Wymaga realizacji na warsztacie (udział operatora obrabiarki), jest dość czasochłonna i często jeszcze ograniczona funkcjonalnie, chociaż widać coraz większy postęp w tym zakresie (rys. 6);



Rys. 6. Przykład symulacji pracy obrabiarki CNC w panelu sterowania CNC

Symulacja obróbki jest ważnym elementem wdrożenia, ale ostateczna weryfikacja prawidłowości pracy postprocesora związana jest z próbami na maszynie. Przykładowy schemat dostosowywania postprocesora przedstawiono o na rys. 7. Uruchomienie nowego typu obróbki wymaga szczególnej uwagi operatora obrabiarki CNC oraz – nierzadko – wprowadzenia zmian w programie NC (np. numeracja narzędzi, numeracja baz obróbkowych, współ-



Rys. 7. Przykładowy schemat dostosowywania postprocesora do obrabiarki CNC

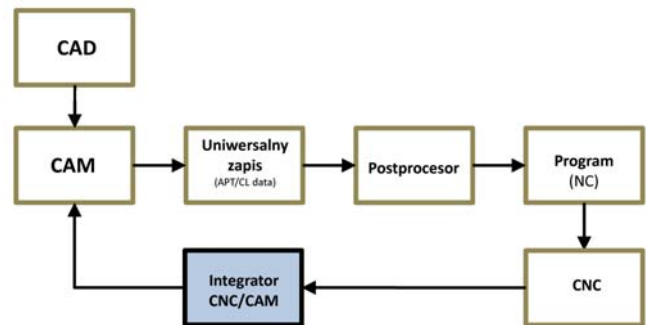
rzędne korekcyjne wprowadzane z pulpitu operatora). Każda zmiana wprowadza tzw. „czynniki ludzki”, który nie jest uwzględniany w symulacjach obróbki off-line i może spowodować nieprawidłowości. Testowanie programu CAM na obrabiarkach jest trudne i niebezpieczne (możliwość wystąpienia kolizji). Z tego powodu próby wykonywane są bardzo ostrożnie, a ruchy zespołów maszyny przebiegają z prędkościami minimalnymi. Ostatecznie pojawiają się:

- ✦ straty związane z okresem przerwy w produkcji na danej obrabiarkach CNC,
- ✦ niebezpieczeństwo uszkodzenia maszyny, narzędzia i oprzyrządowania,
- ✦ stres dla obsługi i strata czasu pracy operatora oraz projektanta CAM.

Eliminacja „czynnika ludzkiego” jest bardzo trudna, dlatego zastosowanie wszelkich form automatycznego nadzoru w takich przypadkach jest wysoce uzasadnione.

Projekt Integratora CNC/CAM

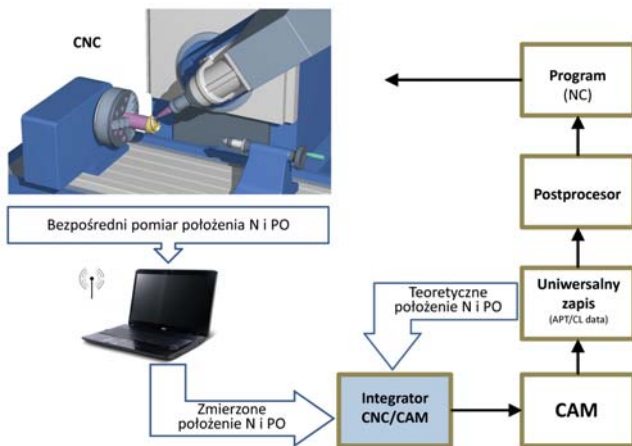
W Instytucie Technik Wytwarzania Politechniki Warszawskiej prowadzone są prace mające na celu ograniczenie opisanych negatywnych zjawisk. Wynikiem prac jest projekt tzw. Integratora CNC/CAM, który spełnia funkcję sprzężenia zwrotnego między obrabiarką CNC a CAM (rys. 8).



Rys. 8. Sprzężenie zwrotne realizowane za pomocą Integratora CNC/CAM

Integrator CNC/CAM składa się z zestawu czujników oraz programu. Zadaniem czujników jest zbieranie danych o przemieszczeniu i orientacji PO i N w trakcie wykonywania programu NC. Oprogramowanie (Matlab, C++) umożliwia archiwizację wymienionych wyżej danych, porównanie ich z teoretycznymi danymi, które służyły do opracowania programu NC i przesłanie wyników analizy do CAM.

Zasada działania Integratora CNC/CAM polega na porównaniu teoretycznego i zmierzonego położenia (i orientacji) narzędzia oraz przedmiotu obrabianego w trakcie wykonywania zaprogramowanego ruchu (rys. 9). Dane opisujące rzeczywiste położenie i orientację N i PO rejestrowane są za pomocą niezależnego od obrabiarki CNC układu pomiarowego. Proponowane podejście nie wymaga stosowania postprocesora odwrotnego ani modelu kinematycznego obrabiarki CNC. Praca Integratora CNC/CAM pozwoli w sposób automatyczny skojarzyć i porównać teoretyczny tor narzędzia względem PO z rzeczywistym oraz funkcjonalnie zidentyfikować proces obróbki (realizacja cykli i części funkcji specjalnych). Ma to zasadnicze znaczenie podczas dostosowywania postprocesora do konkretnej obrabiarki CNC. Umożliwi również poprawę symulacji pracy maszyny CNC opartą na uniwersalnym formacie (APT/CL data) (rys. 2), ujawniając różnice w pracy wirtualnej maszyny i obrabiarki CNC.



Rys. 9. Zasada działania Integratora CNC/CAM

Badanie relacji narzędzia i materiału obrabianego za pomocą Integratora CNC/CAM daje również nowe możliwości porównania efektu obróbki w zależności od układu kinematycznego obrabiarki CNC. Dla różnych maszyn relacja $N - PO$ będzie taka sama podczas obróbki, ale sposób jej uzyskania będzie zależał od układu kinematycznego obrabiarki: inaczej będzie przy zastosowaniu stołu obrotowo-uchyłnego, inaczej dla wrzeciona obrotowego w dwóch osiach, a inaczej, gdy ruchy obrotowe są dzielone między N i PO . Szczególne znaczenie mogą mieć dane dotyczące dużych przyspieszeń mechanizmów obrabiarki. Analiza pozwoli oszacować problem i ewentualnie wskazać trudne miejsce w procesie obróbki.

*

Celem pracy jest poprawa spójności na poziomie CAM – CNC. Praca ma charakter rozwojowy. Zastosowanie Integratora CNC/CAM (programowe i sprzętowe), powinno przynieść takie korzyści, jak:

- skrócenie okresu wdrożenia programów CAM do produkcji (ograniczenie wpływu czynnika ludzkiego);
- poprawę jakościową opracowania programu NC w trybie off-line poprzez wiarygodną symulację (VR) przebiegu obróbki;
- możliwość uwzględnienia w trakcie projektowania technologii off-line zakłóceń o charakterze systematycz-

nym w pracy konkretnej maszyny („adaptacyjne programowanie CAM”);

- możliwość uwzględnienia ograniczeń wynikających z układu kinematycznego OSN na etapie projektowania technologii.

Zalety proponowanego rozwiązania:

- uniwersalne, niezależne od wariantu kinematycznego maszyny,
- nie trzeba budować modelu kinematycznego obrabiarki CNC,
- nie ma potrzeby ingerencji w układ konstrukcyjny i układ sterowania maszyny.

Ograniczenia Integratora CNC/CAM:

- brak prezentacji ruchu głównego, np.: obrotów PO przy toczeniu, obrotów N przy frezowaniu i wierceniu,
- wymaga dodatkowych danych do interpretacji ruchów opisanych parametrycznie (cykle, przechwyty, obroty, ...),
- wymaga dodatkowych danych o narzędziach.

LITERATURA

1. A. ZALEWSKI: Efektywne wytwarzanie dzięki optymalnej strategii obróbki HSM. *Projektowanie i konstrukcje inżynierskie* nr 3(03) grudzień 2007 s. 23 ÷ 26.
2. A. ZALEWSKI: Obróbka trochoidalna na frezarkach CNC. *Mechanik* 4/2007.
3. A. ZALEWSKI: Integracja środków komputerowo wspomaganego wytwarzania na poziomie CAM-CNC. Referat na konferencji Politechniki Radomskiej „OBRABIARKI STEROWANE NUMERYCZ- NIE I PROGRAMOWANIE OPERACJI W TECHNIKACH WY- TWARZANIA”, 25 ÷ 27 listopada 2009 r. s. 265 ÷ 278.
4. K. APRO: *Secrets of 5-axis machining*. Industrial Press Inc. New York 2009.
5. B.U. GUZEL, I. LAZOGLU: Increasing productivity in sculpture surface machining via off-line Piecewise variable feedrate scheduling based on the force system model. *International Journal of Machine Tools Manufacture* 44 (2004) 21 ÷ 28.
6. M. F. ZAEH, T. FOECKERER, M. LOTZ: Implementation of an Integrated CAD/CAM Chain to Optimise Metal Cutting Processes. Institute for Machine Tools and Industrial Management, Technical University of Munich. www.iwb.tum.de
7. Z.C. CHEN, Z. DONG, G. VICKRES: Most efficient tool feed direction in three -axis CNC machining. Department of Mechanical Engineering, University of Victoria, Canada.
8. K. ERKORKMAZ, Y. ALTINTAS, C.-H. YEUNGVIRTUAL: *Computer Numerical Control System* (rozdz. 12). Cambridge University 2007 Cambridge, England.
9. B. GIBBS: Postprocessors: An Integral Part Of Machine Tools. *Production Machining*. <http://www.productionmachining.com/articles>, 2006. ■