

ROZWÓJ METOD PROJEKTOWANIA PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH OBRÓBKI

Jan DUDA

Streszczenie: W referacie przedstawiono formalny opis procesu technologicznego obróbki oraz metod jego projektowania. Dokonano także analizy systemów komputerowego wspomaganie w kontekście stosowanych metod projektowania i poziomu automatyzacji, realizowanego procesu projektowego. Wskazano na ewolucję systemów w kierunku systemów bazujących na wiedzy i zaproponowano schemat generowania procesu technologicznego obróbki z zastosowaniem semigeneracyjnej metody projektowania.

Słowa kluczowe: proces obróbki, metody projektowania, wspomaganie komputerowe.

1. Wprowadzenie

Istotną fazą zintegrowanego komputerowo rozwoju wyrobów, procesów i systemów wytwarzania jest projektowanie technologiczne. Postęp umożliwiający realizację nowych strategii rozwojowych wyrobów implikuje również rozwój metod i systemów projektowania procesów technologicznych obróbki, w kierunku pozwalającym na ciągłe doskonalenie wyrobów i procesów ich wytwarzania.

2. Formalny opis procesu technologicznego obróbki

Proces technologiczny jest zamierzonym i uporządkowanym ciągiem dyskretnych działań występujących w systemie produkcyjnym w odniesieniu do wyrobu [1]. Stwierdzono, że w procesie technologicznym mogą zachodzić zmiany stanu obiektu (przedmiotu obrabianego) od stanu początkowego do końcowego (proces technologiczny obróbki). Przyjęto także, że proces technologiczny obróbki realizowany przez system wytwarzania jest opisany przez zbiór działań $\{E_O\}$, realizowanych przez elementy systemu obróbki, w wyniku których następuje dyskretna zmiana charakterystyki przedmiotu ze stanu początkowego w stan końcowy oraz strukturę **SPO**, która określa kolejność występujących w procesie działań.

$$PTO = \{E_O\}, SPO \quad (1)$$

gdzie: $\{E_O\}$ - zbiór działań obróbkowych,

SPO - struktura procesu technologicznego obróbki.

Analiza procesów technologicznych wskazuje na występowanie trzech rodzajów działań:

E_{TRO} -działanie powodujące zmianę stanu przedmiotu obrabianego,

E_{OPO} -działanie powodujące zmianę położenia obiektu w systemie (narzędzia -N, przedmiotu -PO, oprzyrządowania wymiennego - ZPW/ZNW),

E_{IDO} -działanie porównujące charakterystykę rzeczywistą przedmiotu w odniesieniu do charakterystyki zadanej dokumentacją procesu.

A zatem:

$$PTO = \{E_{TRO}, E_{OPO}, E_{IDO}\}, SPO \quad (2)$$

Proces technologiczny obróbki zachodzący w systemie wytwarzania w odniesieniu do wyrobu opisuje zbiór działań realizowanych przez elementy systemu obróbki, w wyniku których następuje dyskretna zmiana charakterystyki przedmiotu obrabianego ze stanu półfabrykatu PO_p w stan gotowego wyrobu PO_w .

Przedmiot obrabiany PO_w opisany jest zbiorem cech (ang. Feature) i uzyskanie tych cech jest równoznaczne z obrobieniem przedmiotu. Każda cecha przedmiotu obrabianego jest transformowana przez jedną lub więcej transformacji zanim osiągnie żądany stan końcowy.

Zachodzące zmiany PO_p opisuje sekwencja transformacji $T_1, T_2, \dots, T_i, \dots$. Kolejne podzbiory transformacji powodowane przez działania zachodzące w systemie wytwarzania prowadzą do uzyskania stanów pośrednich przedmiotu obrabianego ujętych wyrażeniem:

$$PO_p = Sp_p \xrightarrow{T_1} Sp_1 \xrightarrow{T_2} Sp_2 \dots \xrightarrow{T_i} Sp_i = PO_i \dots \xrightarrow{T_{w-1}} Sp_{w-1} \xrightarrow{T_w} Sp_w = PO_w \quad (3)$$

gdzie: PO_p - przedmiot obrabiany w stanie półfabrykatu,

PO_i - przedmiot obrabiany w stanie i-tym,

PO_w - przedmiot obrabiany w stanie gotowego wyrobu,

Sp_i - stan pośredni przedmiotu obrabianego powodowany przez i-ty zbiór transformacji,

Sp_w - stan pośredni przedmiotu obrabianego w stanie wyrobu,

T_i - i-ty zbiór transformacji przedmiotu obrabianego.

Rozpoczynając proces obróbki przedmiotu obrabianego od półfabrykatu PO_p , realizuje się szereg działań w systemie wytwarzania aż do momentu, kiedy stan tych cech będzie zgodny ze stanem gotowego wyrobu PO_w , w określonym zakresie tolerancji wykonania. Stan pośredni i - ty opisać można za pomocą formalizmu podanego w [2]:

$$Sp_i = (C_i, W_i, T_i) \quad (4)$$

gdzie: C_i -zbiór cech przedmiotu w stanie i-tym,

W_i -zbiór więzi nałożonych na cechy przedmiotu w stanie i-tym,

T_i - zbiór transformacji prowadzących do uzyskania i-tego stanu pośredniego.

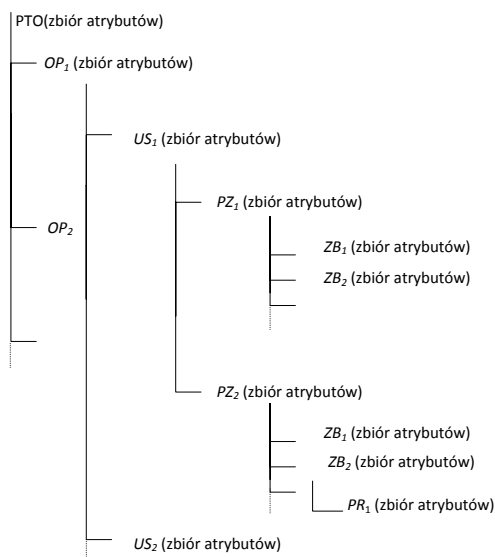
Struktura procesu technologicznego obróbki określa wyróżnialny układ elementów strukturalnych i ich uporządkowanie uzależnione od:

- charakterystyki geometrycznej przedmiotu obrabianego i właściwości fizyko-mechanicznych materiału,
- postulatu stałego wzrostu w procesie dokładności wymiarowo-kształtowej powierzchni przedmiotu.

W wyniku projektowania powstaje określona struktura procesu technologicznego złożona z szeregu hierarchicznie powiązanych ze sobą elementów (rys. 1). Tak określoną

strukturę procesu technologicznego przedstawiono w formie obiektów wraz z ich atrybutami, co dało podstawę do zastosowanie techniki obiektowej i budowy baz danych typu klient/Server [3].

$$PTO = [OP[US[PZ[ZB[PR]]]]] \quad (5)$$



Rys. 1. Hierarchiczna struktura procesu technologicznego obróbki
OP-operacja, *US*-ustawienie, *PZ*-pozycja, *ZB*-zabieg, *PR*- przejście

Dekompozycja operacji technologicznych na niższe hierarchicznie elementy struktury a także charakterystyka zbioru atrybutów je opisujących zależy od rodzaju operacji technologicznych tworzących proces (obróbki skrawaniem, obróbki cieplnej, kontroli itp.).

3. Formalny opis projektowania procesu technologicznego obróbki

Proces technologiczny zależy od szeregu czynników, które w pracy [2] ujęto w trzy grupy:

- wiedzę technologiczną określoną jako zbiór informacji umożliwiających prawidłowe projektowanie procesu technologicznego. Zbiór ten składa się z zasad i reguł,
- dane, o systemie wytwarzania obejmujące charakterystyki technologiczne elementów systemu wytwarzania, a także zbiór możliwości realizacji działań na poszczególnych stanowiskach wytwarzania,
- założenia ekonomiczne obejmujące wielkość programu produkcyjnego, powtarzalność serii oraz przewidywany termin dostarczenia wyrobu na rynek.

Projektowanie procesu technologicznego dla określonych danych wejściowych: programu produkcyjnego, charakterystyki przedmiotu obrabianego PO_w określonej zależnością:

$$PO_w = (C_w, W_w, \psi_w) \quad (6)$$

jest twórczym procesem decyzyjnym zmierzającym do określenia uzasadnionej przesłankami technicznymi i ekonomicznymi postaci półfabrykatu PO_p oraz działań realizowanych w systemie wytwarzania prowadzących do przekształcenia półfabrykatu PO_p w wyrób o żądanych charakterystykach PO_w .

Projektowanie procesu technologicznego obróbki obejmuje, zatem:

- dobór i projektowanie półfabrykatu,
- opracowanie planu obróbki,
- tworzenie struktury procesu obróbki poprzez dobór metod i środków technicznych do realizacji procesu obróbki,
- opracowanie dokumentacji procesu obróbki.

4. Projektowanie procesu technologicznego obróbki w systemach CAD/CAM

W pracach [4], [5], [6] przedstawiono zastosowanie systemów wspomaganie komputerowego w realizacji faz występujących w cyklu życia wyrobu stwierdzając, że systemy CAPP, CAAPP „nie dotrzymują kroku” dynamicznie integrującym się systemom CAD i CAM.

Systemy CAD/CAM łączą przestrzenne modelowanie złożenia wyrobu oraz części składowych z projektowaniem obróbki oraz z symulacją ścieżki narzędzia. Do systemów wprowadzono ponadto elementy analizy kolizyjności złożań oraz optymalizacji tak pojedynczych ścieżek narzędziowych jak i kolejności zabiegów. O przydatności systemu CAD i CAD/CAM, do projektowania procesów technologicznych, decyduje:

- zakres wspomaganie komputerowego projektowania procesu montażu,
- ilość posiadanych przez system modułów realizujących programowanie w zakresie określonych metod obróbki,
- poziom zastosowania zależny od możliwości opisu geometrycznego obrabianych powierzchni.

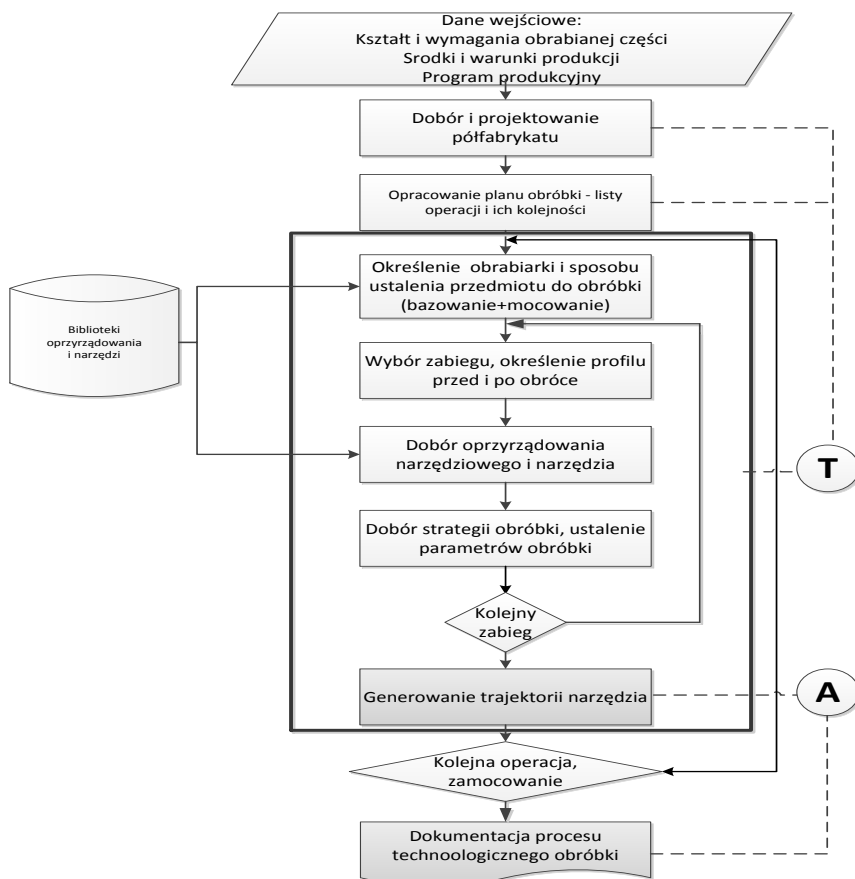
W systemach CAD/CAM realizowany jest tryb przetwarzania przez procesor, który generuje uogólnione dane pośrednie a następnie przetwarzania przez postprocesor, który dostosowuje te dane do konkretnej obrabiarki. Tryb ten sprawia, że realizacja złożonego twórczego procesu decyzyjnego technologa projektanta i projektowanie w oparciu o dysponowane zasoby obrabiarek, oprzyrządowania i narzędzi dostępnych w systemie wytwarzania jest nadal utrudnione.

4.1. Ocena poziomu automatyzacji wspomaganie technologicznego w rozwoju wyrobu

Przebieg projektowania procesów technologicznych obróbki w systemach CAD/CAM przedstawia rys.2. Analiza dotyczy oceny automatyzacji realizowanego procesu w zakresie projektowania półfabrykatów i procesów technologicznych ich wykonania oraz projektowania struktury procesu technologicznego obróbki ze względu na:

- tworzenie struktury procesu w zakresie projektowania operacji, ustawień, zabiegów i przejść,
- dobór obrabiarek, oprzyrządowania przedmiotowego i narzędziowego oraz narzędzi,

- obliczenia parametrów obróbki,
- kalkulacji kosztów,
- zapisu opracowanych procesów technologicznych obróbki.



Rys. 2. Przebieg projektowania procesów technologicznych obróbki w systemie CAD/CAM. T-zakres działań realizowanych przez technologa, A-zakres działań realizowanych przez komputer

Analiza funkcjonalności systemów CAD/CAM pozwala stwierdzić, że poziom wspomaganie komputerowego w zakresie realizacji projektowania technologicznego w systemach CAD/CAM jest stosunkowo niski. Generowanie sekwencji montażowych i opracowanie planu obróbki części tworzących wyrób realizowane jest w trybie projektowania konwersacyjnego przez technologa projektanta. Zwiększenie funkcjonalności systemów CAD/CAM w zakresie projektowania technologicznego odbywa się poprzez budowę modułów dla wspomaganie projektowanie procesów technologicznych kształtowania pierwotnego (projektowania półfabrykatów) oraz wyspecjalizowanych modułów wspomagających projektowanie oprzyrządowania technologicznego. Wysoki poziom integracji, w tak rozbudowujących się systemów, uzyskuje się poprzez zastosowanie wspólnego modelu danych PPR (ang. Product, Process, Resources), który

zabezpiecza wymianę danych pomiędzy modułami wykorzystywanymi w procesie projektowym.

4.2. Rozwój systemów bazujących na wiedzy

W systemach wspomagania komputerowego CAD/CAM w coraz szerszym zakresie stosowane są metody sztucznej inteligencji. Poziom automatyzacji realizowanych funkcji wzrasta w wyniku stosowania rozbudowanych obiektów zawierających informacje, które mogą być interpretowane w rozbudowany wariantowy sposób, charakterystyczny dla wnioskowania w systemach doradczych:

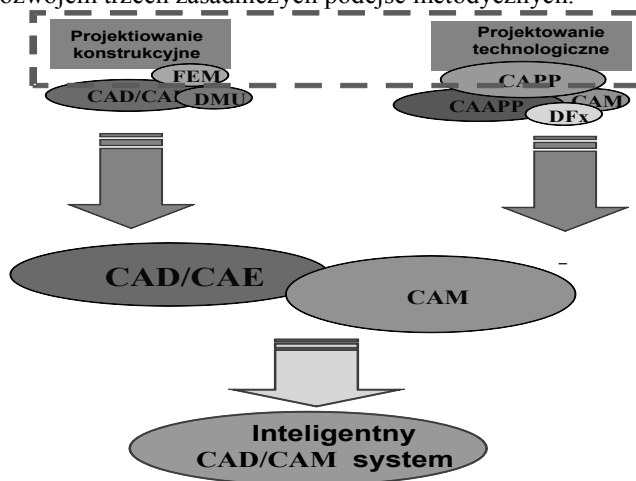
- szablonów pozwalających na projektowanie procesu w oparciu o utworzony wcześniej wzorzec,
- modułów pozwalających na zapis wiedzy technologicznej a następnie wykorzystanie tej wiedzy w procesie projektowym.

Prowadzi to do powstania inteligentnych systemów CAD/CAM (rys. 3).

Należy jednak zaznaczyć, że pomimo tak rozbudowywanej funkcjonalności gromadzona wiedza dotyczy obiektów wcześniej zamodelowanych w systemie CAD a możliwość jej ponownego wykorzystania ograniczona jest do części technologicznie podobnych.

5. Projektowanie procesu technologicznego obróbki w systemach CAPP

Istotnym działaniem, które wpływa na efektywność realizowanych procesów obróbki jest określenie struktury procesu technologicznego obróbki. Zadanie to realizowane jest przez systemy CAPP, w których osiągnięcie wyższego stopnia automatyzacji, obejmującego również zagadnienie automatycznego określania operacji i ich kolejności, związane było z rozwojem trzech zasadniczych podejść metodycznych.



Rys. 3. Integracja konstrukcyjno-technologiczna w systemach CAD/CAM

W wyniku przeprowadzonej analizy metod projektowania stwierdzono, że w projektowaniu procesu technologicznego dla określonego przedmiotu projektant posługuje

się wzorcem procesu, który determinują metodę projektowania. W związku z powyższym wyodrębniono:

- metody wariantowe o zdeterminowanym lub częściowo zdeterminowanym wzorcu struktury,
- metody semigeneracyjne o ogólnym wzorcu w postaci modelu struktury,
- metody generacyjne, w których rolę wzorca pełni zbiór zasad i reguł pozwalających na budowę procesu.

Poniżej przedstawiono sformalizowany opis poszczególnych metod określając:

- etap tworzenia wzorca procesu,
- etap projektowania procesu.

5.1. Metody wariantowe

Metody wariantowe, bazują na idei podobieństwa procesów technologicznych. Metoda polega na przyporządkowaniu, dla danej części procesu spośród opracowanych wcześniej procesów, dla zbiorów części technologicznie podobnych. Zautomatyzowane projektowanie procesu technologicznego, w ujęciu ogólnym, polega na przyporządkowaniu przez komputer, na podstawie kodu klasyfikacyjnego części, odpowiedniego dla tej części procesu obejmującego plan operacji obróbki. W zależności od wybranego procesu t realizowana jest jego analiza i dopasowanie stosownie do części, do obróbki której był wybrany. Zakres zastosowania metody wariantowej ogranicza się do określonych grup części i zdefiniowanych typowych procesów. Należy zaznaczyć, że w wielu przypadkach zakres przeprowadzonych modyfikacji może być znaczny, co wynika także z faktu, że adaptowany proces technologiczny mógł być opracowany wcześniej w innych warunkach zewnętrznych wpływających na przebieg projektowania. Według danych amerykańskich, 30-90% nowego wyrobu tworzą elementy wykonane wcześniej. Oznacza to, że dla pozostałych części zwłaszcza nietypowych należy wypracować rozwiązanie konstrukcyjne i wykonać kompleksową dokumentację technologiczną. Jest to istotna wada metod wariantowych, która zmusza do stosowania innych metod projektowania.

W grupie metod wariantowych wyróżniono:

- projektowanie na podstawie procesów indywidualnych,
- projektowanie na podstawie procesu grupowego,
- projektowanie na podstawie procesu typowego.

Projektowanie na podstawie procesów indywidualnych odbywa się z wykorzystaniem dostępnych w zakładzie procesów. Na podstawie danej charakterystyki przedmiotu PO_w zostanie zidentyfikowany zbiór przedmiotów o podobnej konstrukcyjno - technologicznej charakterystyce oraz zbiór przypisanych im procesów technologicznych. Ze zbioru zostaje wybrany proces technologiczny o najbardziej zbliżonej charakterystyce będący wzorcem.

$$PO_w \rightarrow \{PO_w^1, PO_w^2, \dots, PO_w^n\} \rightarrow \{PTO^1, PTO^2 \dots PTO^n\} \rightarrow PTO_I \quad (7)$$

Projektowanie procesu PTO_I podlega na modyfikacji, w celu dostosowania do wymagań określonych charakterystyką przedmiotu PO_w .

$$PTO_I \xrightarrow{mod} PTO \quad (8)$$

W projektowaniu na podstawie procesu grupowego dany jest zbiór technologicznie podobnych przedmiotów. Na podstawie charakterystyk, konstrukcyjno technologicznych zbioru przedmiotów, zostaje opracowana charakterystyka tzw. przedstawiciela grupy - hipotetycznego przedmiotu zawierającego cechy zbioru przedmiotów zadanych PO_H . Dla przedmiotu PO_H zostaje opracowany proces technologiczny grupowy PTO_G , o stałej strukturze będący wzorcem.

$$PO_w \rightarrow \{PO_w^1, PO_w^2, \dots, PO_w^n\} \rightarrow PO_H \rightarrow PTO_G \quad (9)$$

Tak przygotowany wzorec pozwala na opracowanie procesu technologicznego, dla każdego przedmiotu z zadanego zbioru, poprzez eliminację poszczególnych elementów struktury procesu.

W projektowaniu na podstawie procesu typowego dany jest zbiór technologicznie podobnych przedmiotów należących do określonej klasy:

$$\{PO_w^1, PO_w^2, \dots, PO_w^n\}^K \quad (10)$$

z którego zostają wyodrębnione rodziny przedmiotów technologicznie podobnych R^1, R^2, \dots . Projektowanie wzorca dla wyodrębnionej rodziny części opisuje wyrażenie:

$$R = \{PO_w^1, PO_w^2, \dots, PO_w^n\} \rightarrow PTO_R = \{ME_{TRO}, ME_{OPO}, ME_{IDO}\}, SPO_R \dots \quad (11)$$

Na podstawie opracowanego, w powyższy sposób, wzorca po określeniu przynależności przedmiotu obrabianego PO_w , nie należącego do analizowanego zbioru do określonej rodziny, opracowany zostaje proces technologiczny przez wykorzystanie przynależnego do rodziny struktury procesu SPO_R i parametryzację modeli działań $ME_{TRO}, ME_{OPO}, ME_{IDO}$.

5.2. Metody generacyjne

Metody generacyjne, bazujące na syntezie procesu technologicznego, przyniosły kolejny znaczący postęp w ewolucji systemów CAPP. W metodzie generacyjnej brak występowania fazy tworzenia wzorca. Dla zidentyfikowanych cech technologicznych $c_{w1}, c_{w2}, \dots \in C_w$ wyrobu w stanie końcowym PO_w opracowywany jest zbiór działań E_{TRO} transformujących cechę technologiczną c_{pi} w c_{wi} . Następnie zbiór działań E_{TRO} zostaje uporządkowany w oparciu o zbiór reguł i zasad projektowania PT obróbki. Uporządkowanie działań E_{TRO} realizowane jest w procesie syntezy procesu technologicznego z procesów technologicznych elementarnych opracowanych dla zbioru cech technologicznych tworzących wyrób.

Cechą charakterystyczną rozwoju metod generacyjnych projektowania procesów technologicznych były trudności w formalnym opisie reguł syntezy procesów elementarnych (generowanych dla powierzchni elementarnych) w proces technologiczny obróbki. Metoda generacyjna jest przedmiotem teoretycznych i eksperymentalnych badań a trudności z implementacją metody są związane z brakiem formalnego opisu syntezy działań tworzących proces obróbki. Trudności w tworzeniu rozległych baz wiedzy, określających reguły syntezy procesu, wymaganych w systemach generacyjnych z jednej strony oraz wykazane powyżej wady metod wariantowych, doprowadziły do rozwoju metod hybrydowych określanych w literaturze mianem semigeneracyjnych.

5.3. Metody semigeneracyjne

Metody semigeneracyjne, łączą zalety metod wariantowych – możliwość pozyskiwania procesu typowego dla zadanej części i metod generacyjnych – możliwość generowania szczegółowego procesu obróbki dla zadanego systemu wytwarzania.

W opisanych dotychczas metodach, wzorzec charakteryzowała stała struktura procesu indywidualnego SPO_I , grupowego SPO_G lub typowego opracowanego dla rodziny przedmiotów obrabianych SPO_R . W metodzie semigeneracyjnej wzorzec tworzony jest na podstawie analizy procesów technologicznych należących do określonej klasy oraz zasady i reguły projektowania - wiedzę technologiczną WT .

$$WT \rightarrow \{ME_{TRO}, ME_{OPO}, ME_{IDO}\}, MSPO \quad (12)$$

Tak więc tworzenie wzorca procesu jest związane z określaniem uogólnionych struktur procesów technologicznych obróbki, dla podobnych technologicznie przedmiotów obrabianych. Na podstawie wzorca procesu, po analizie przedmiotu obrabianego po analizie przynależności przedmiotu do określonej klasy, generowany jest proces technologiczny obróbki polegający na:

- wyznaczeniu w oparciu o wzorzec stanów pośrednich przedmiotu obrabianego od stanu gotowego wyrobu do stanu półfabrykatu,
- wyznaczenia sposobów i środków technicznych realizacji wyznaczonych stanów pośrednich w systemie wytwarzania od stanu półfabrykatu do stanu gotowego wyrobu.

Stany pośrednie określane są poprzez generowanie działań na podstawie wzorca procesu i wyznaczanie transformacji, które je powodują. Stąd kolejne wyznaczane stany pośrednie opisuje sekwencja wyrażeń:

$$\begin{aligned} PO_w &= Sp_w = (C_w, W_w, \psi_w) \\ Sp_{w-1} &= Sp_w + T_w \dots \\ PO_{i-1} &= Sp_{i-1} = (C_{i-1}, W_{i-1}, \psi_{i-1}) \\ Sp_{i-1} &= Sp_i + T_i \dots \\ PO_1 &= Sp_1 = (C_1, W_1, \psi_1) \end{aligned} \quad (13)$$

Kolejne zbiory transformacji $T_w, T_{w-1}, \dots, T_i, \dots, T_1$ są zależne od generowanych działań, dla wykonania zidentyfikowanych cech technologicznych $c_{i1}, c_{i2}, \dots \in C_i$. W wyniku iteracyjnego postępowania, generowanie są stany pośrednie.

$$PO_w = Sp_w \xrightarrow{T_w} Sp_{w-1} \xrightarrow{T_{w-1}} \dots \xrightarrow{T_i} Sp_i = PO_i \dots \xrightarrow{T_2} Sp_2 \xrightarrow{T_1} Sp_1 = PO_p \quad (14)$$

Stan pośredni Sp_1 jest następnie transformowany do stanu Sp_p , który jest zależny od wybranego uzasadnionego względami technologicznymi i ekonomicznymi typu półfabrykatu i technologii jego wykonania.

$$Sp_p = Sp_1 + T_p \quad (15)$$

Tak więc przedmiot obrabiany w stanie półfabrykatu opisuje wyrażenie:

$$PO_p = Sp_p = (C_p, W_p, \psi_p) \quad (16)$$

gdzie: C_p -zbiór cech półfabrykatu,

W_p - zbiór więzi nałożonych na cechy przedmiotu w stanie półfabrykatu,

ψ_p -zbiór więzi nałożonych na cechy przedmiotu w stanie końcowym.

Generowanie struktury PT obróbki sprowadza się do wyznaczenia sposobów i środków technicznych realizacji wyznaczonych stanów pośrednich w systemie wytwarzania od stanu półfabrykatu do stanu gotowego wyrobu.

5. Projektowanie procesu technologicznego w warunkach współbieżnego rozwoju wyrobu

Postęp umożliwiający realizację nowych strategii rozwojowych implikujących interaktywny rozwój wyrobu, stawia określone wymagania dla systemów projektowania procesów technologicznych obróbki posiadających:

- zdolność do projektowania procesów technologicznych obróbki dla szerokiego spektrum typowych części maszyn, elementów składowych wyrobów,
- zdolność do projektowania procesów technologicznych obróbki przy uwzględnieniu dysponowanych możliwości systemu wytwarzania,
- zdolność do generowania szeregu wariantów procesu technologicznego z różnym stopniem szczegółowości opracowania.

Te cechy systemów, jak wykazują wyniki prac badawczych, osiągnąć można przez zastosowanie generacyjnych szkieletowych systemów CAPP:

- z możliwością zapisu, modyfikacji i przetwarzania wiedzy technologicznej (repozytoria wiedzy),
- z możliwością zapisu technologicznych charakterystyk systemu wytwarzania ukierunkowanych na charakterystykę realizowanych w przedsiębiorstwie procesów wytwórczych,
- z możliwością generowania rozwiązań na różnym poziomie szczegółowości. Rozwiązania te poddawane analizie przez systemy DfX pozwalałyby na dynamiczne kształtowanie charakterystyk wyrobu.

Dla budowy systemu CAPP, spełniającego wymagania inżynierii współbieżnej, zastosowano semigeneracyjną metodę projektowania, Proces projektowy wymaga niezbędnego zasobu wiedzy technologicznej. W pracy (Duda, 2003) wyodrębniono:

- wiedzę o strukturze procesu technologicznego dla typowych części określaną jako wiedzę 1 rodzaju,
- wiedzę określającą strategii przetwarzania, zależną od przyjętej metody projektowania określaną jako wiedzę technologicznej 2 rodzaju.

Projektowanie procesu technologicznego obróbki realizowane jest przez system projektowania. Opis działania systemu sprowadza się do określenia trybu tworzenia wzorca procesu, trybu projektowania procesu technologicznego obróbki oraz trybu zarządzania bazami danych dla przyjętej semigeneracyjnej metody projektowania. Projektowanie procesu technologicznego realizowane jest na podstawie rys.4:

1. Danych wejściowych.

Dane o przedmiocie obrabianym przechowywane są w obiektowej bazie wyrobu zorientowanej na cechy technologiczne, której koncepcję podano w pracach [7]. Model wyrobu reprezentowany jest za pomocą obiektów. Obiekt jest strukturą programistyczną łączącą w sobie dane (pola) oraz metody (procedury, funkcje) przetwarzające te dane. Obiekty komunikują się ze sobą za pomocą komunikatów.

2. Bazy danych możliwości technologicznych systemu wytwarzania.

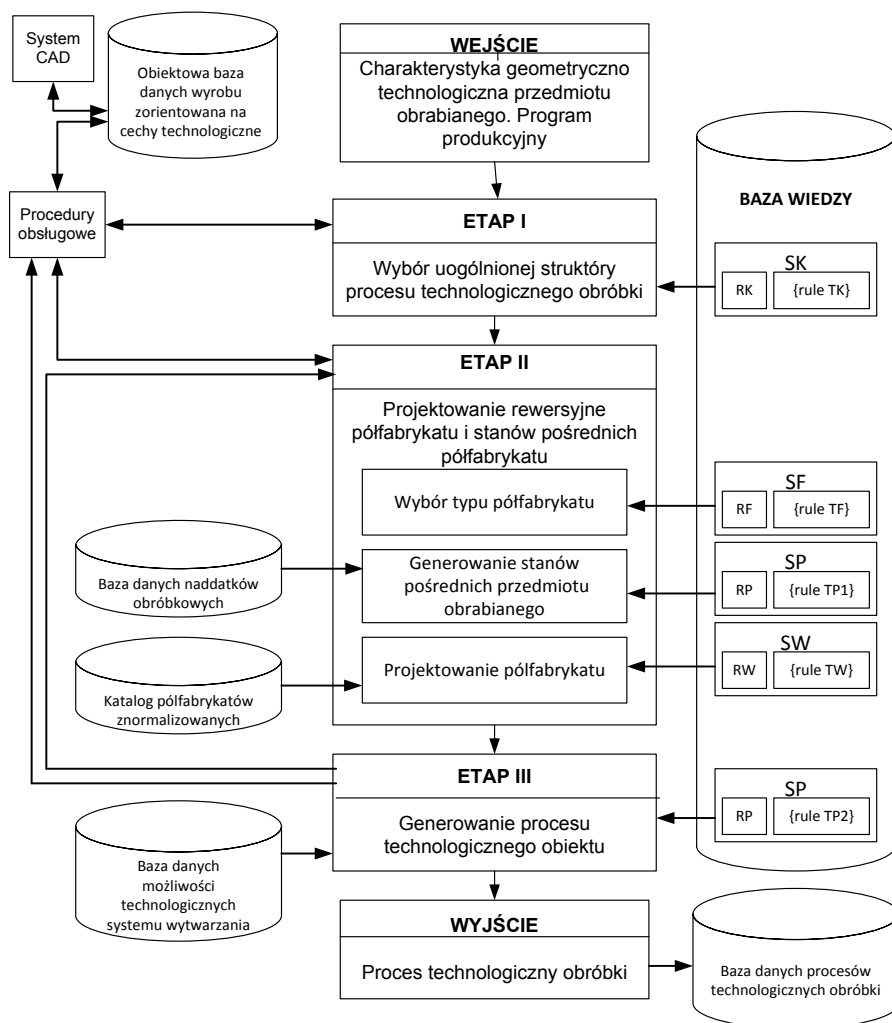
Podstawą jej budowy była przyjęta klasyfikacja działań zachodzących w systemach wytwarzania. Zdefiniowane i zapisane formalnie działania zachodzące w systemach wytwarzania są podstawą do budowy z jednej strony uogólnionych struktur procesów technologicznych obróbki, z drugiej do definicji możliwości technologicznych systemu wytwarzania. Konstrukcję bazy danych możliwości technologicznych systemu wytwarzania oparto na założeniu, że ma to być oprogramowanie o charakterze uniwersalnym tzn. pozwalające na zapis pełnej charakterystyki dowolnego systemu wytwarzania. Z tego względu baza danych została podzielona na dwie podstawowe części. Część pierwsza opisuje system wytwarzania i jego elementy składowe.

Część druga określa możliwości realizacji działań typu transformator, operator i identyfikator w charakteryzowanym systemie wytwarzania.

3. Bazy danych normatywów technologicznych naddatków obróbkowych.

Wymienione bazy danych tworzone są w trybie zarządzania bazami danych systemu. W trybie tworzenia wzorca procesu tworzone są bazy wiedzy. Są zapisem zasad i reguł projektowania procesów technologicznych. Bazy wiedzy obejmują:

- wiedzę określającą zasady wyboru typu technologicznego przedmiotu obrabianego, dla którego określić można uogólnioną strukturę procesu technologicznego obróbki SK reprezentowaną w formie ram RK i reguł {rule TK},
- wiedzę określającą zasady wyboru typu półfabrykatu, dla wybranego typu technologicznego przedmiotu obrabianego SF reprezentowaną w formie ram RF i reguł {rule TF},
- wiedzę określającą zasady i reguły projektowania procesu technologicznego półfabrykatu SW reprezentowaną w formie ram RW i reguł {rule TW},
- wiedzę określającą zasady i reguły projektowania procesu technologicznego obróbki SP reprezentowaną w formie ram RP i reguł {rule TP}.



Rys. 4. Schemat generowania procesu technologicznego obróbki

Projektowanie procesu technologicznego ze względu na swoją złożoność realizowane jest etapowo od ogólnej koncepcji rozwiązania zadania do szczegółowych rozwiązań, poprzez działania iteracyjne. Dla trybu projektowania procesu przyjęto trzy etapy projektowe:

1. Wybór uogólnionej struktury procesu technologicznego obróbki (ETAP I).
2. Projektowanie rewersyjne półfabrykatu i stanów pośrednich przedmiotu obrabianego (ETAP II).
3. Generowanie procesu technologicznego obróbki (ETAP III).

Wynikiem realizacji etapów I i II jest charakterystyka półfabrykatu i stanów pośrednich przedmiotu obrabianego natomiast etapu III, sekwencja operacji tworzących proces technologiczny obróbki. Wyodrębnione etapy generowania procesu technologicznego obróbki zostały szczegółowo opisane w [2].

6. Podsumowanie

Przedstawiony formalny opis metod projektowania procesów technologicznych obróbki, stosowanych w systemach wspomaganie komputerowego wskazuje, że projektowanie w systemach CAD/CAM, pomimo ciągłego rozwoju tych systemów jest nadal utrudnione. Realizacja twórczego procesu decyzyjnego, kształtowanie struktury procesu, realizowane jest w trybie konwersacyjnym przez technologa, który w oparciu o swoje doświadczenie i wiedzę technologiczną kreuje rozwiązania. Mogą być one weryfikowane i doskonalone poprzez symulację obróbki. Rozwój systemów CAD/CAM i systemów CAPP stosujących bazujące na wiedzy, metody semigeneracyjne przyczynić się może do zwiększenia poziomu automatyzacji projektowania procesów technologicznych.

Literatura

1. Duda J., Samek A.: Structural Analysis Of The Conventional And Concurrent Engineering. Proceedings of the Eighth International FAIM Conference Flexible Automation and Intelligent Manufacturing Portland USA, 1998.
2. Duda J.: Wspomagane komputerowo generowanie procesu obróbki w technologii mechanicznej. Politechnika Krakowska, Kraków, 2003.
3. Duda J. Kwatera M., Habel J., Samek A.: Data Base with Open Architecture for defining Manufacturing System Capabilities. Int. Conference FAIM' 99 Tilburg, Holland, 1999.
4. Chlebus Edward. Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji. PWN, Warszawa, 2000.
5. Chlebus Edward red., i inni. Innowacyjne technologie rapid prototyping-rapid tooling w rozwoju produktu. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2003.
6. Duda J.: Computer Aided Assambly and process planning in the integrated product development environment.. 7th Int. Conference "New Ways in Manufacturing Technology". Presov, 2004.
7. Pobożniak J.: Modelowanie przedmiotów w środowisku współbieżnego projektowania procesów technologicznych. Konf. Automatyzacja produkcji - wiedza technika i postęp, Wrocław, 2000.

Dr hab. inż. Jan Duda Prof. PK
Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji
Politechnika Krakowska
31-864 Kraków Al. Jana Pawła II 37
tel./ fax (012) 374-32-60, 374-32-50; (012) 374-32-02
e-mail: duda@mech.pk.edu.pl