

MIEJSCE DIAGNOSTYKI TECHNICZNEJ W STEROWANIU JAKOŚCIĄ PROCESÓW OBRÓBKI MECHANICZNEJ

Adam HAMROL

Politechnika Poznańska, Int. Technologii Mechanicznej, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań
tel. 061 6652621, fax 061 6652200, e-mail: adam.hamrol@sol.put.poznan.pl

W sterowaniu jakością procesów obróbki wykorzystuje się jak dotąd w niewielkim stopniu metody stosowane w diagnostyce technicznej. Należy to uznać za pewne zaniedbanie, gdyż zjawiska towarzyszące procesom obróbki niosą wiele informacji o zdolności jakościowej procesu. W artykule przedstawiono ogólną ideę diagnostyki procesu obróbkowego i omówiono zależności pomiędzy sygnałami diagnostycznymi a cechami charakteryzującymi jakość wykonania obrabianej części.

Methods applied in diagnosis of technical systems are seldom used in quality control in manufacturing systems. It can be viewed as a serious negligence because phenomena accompanying technical process relate very strongly to quality characteristics. In the paper the main idea of process diagnosis is presented and relations between diagnostic signals and quality characteristics are discussed.

Źródła informacji o jakości w procesie produkcji

Aby w procesach obróbki mechanicznej zapewnić wysoki i stały poziom jakości wykonania części stosuje się szereg środków o działaniu prewencyjnym, kontrolnym lub sterującym. Można je podzielić na dwie grupy.

1. Środki służące doskonaleniu jakości wykonania wyrobu (w tym jego części i podzespołów) poprzez systematyczne poprawianie warunków realizacji procesu, np. zastosowanie nowych materiałów narzędziowych, nowych urządzeń czy też metod obróbki. Środki te są elementem szeroko rozumianego zapewnienia jakości, czyli wszystkich planowanych i systematycznych działań, realizowanych w ramach systemu zapewnienia jakości, służących do wzbudzenia należytego zaufania co do tego, że przedsiębiorstwo spełni wymagania jakościowe.
2. Środki stosowane w sposób ciągły, czasami interwencyjny, związane z działaniami o charakterze operacyjnym. Polegają na przykład na: wymianie narzędzia, skorygowaniu parametrów obróbki, zaostreniu warunków kontroli itp. Decyzje muszą być tutaj podejmowane bez dużej zwłoki czasowej w oparciu o informacje uzyskiwane z :

- ♦ pomiaru cech wyrobu (części obrabianej), co do których, na danym etapie procesu technologicznego, są sprecyzowane wymagania technologiczne - ich pomiar jest przeprowadzany po zakończeniu danej operacji,
- ♦ monitorowania wielkości i zjawisk związanych na trwałe z procesem obróbki i wynikających z jego natury (np. siły, ciepło, drgania) - pomiar jest realizowany *on-line*,
- ♦ obserwacji zdarzeń zachodzących sporadycznie podczas realizacji procesu i zakłócających jego przebieg (pęknięcie narzędzia, błąd operatora procesu, awaria maszyny itp.) - są odbierane przy pomocy zmysłów człowieka.

Informacje z pierwszego źródła są podstawą kooperacyjnej kontroli jakości. Dwa pozostałe źródła: zjawiska w sposób trwały towarzyszące procesowi oraz występujące w nim mniej lub bardziej sporadycznie zdarzenia są wykorzystywane w praktyce sterowania jakością zdecydowanie rzadziej. A przecież niosą ogromny zasób informacji o bieżącym stanie procesu (zjawiska towarzyszące) oraz o jego historii (zdarzenia). Pozwalają zatem ukierunkować działania doskonalące również na proces, a nie tylko na wyrób. Ignorowanie tych informacji, w sytuacji wciąż rosnących możliwości pomiaru i przetwarzania sygnałów należy uznać za ogromne marnotrawstwo.

Diagnostyka procesu a sterowanie jakością

Układy diagnostyczne są przedmiotem badań *diagnostyki technicznej*, która dostarcza sposobów określania szeroko rozumianego stanu technicznego urządzeń za pomocą obiektywnych metod i środków w celu podwyższenia ich trwałości i niezawodności [1].

W niniejszym artykule rozpatrywane są układy diagnostyczne, które odnoszą się do systemów obróbkowych. Zazwyczaj są zintegrowane z maszyną (obrabiarką, urządzeniem technologicznym). Ich rola polega na rozpoznawaniu zakłóceń lub awarii mogących zagrozić spełnieniu wymagań jakościowych i ewentualnie podejmowaniu - z jak najmniejszą zwłoką czasową - działań korygujących. Diagnostyka w systemie obróbkowym oznacza:

- diagnostykę stanu technicznego urządzenia technologicznego (np. obrabiarki),

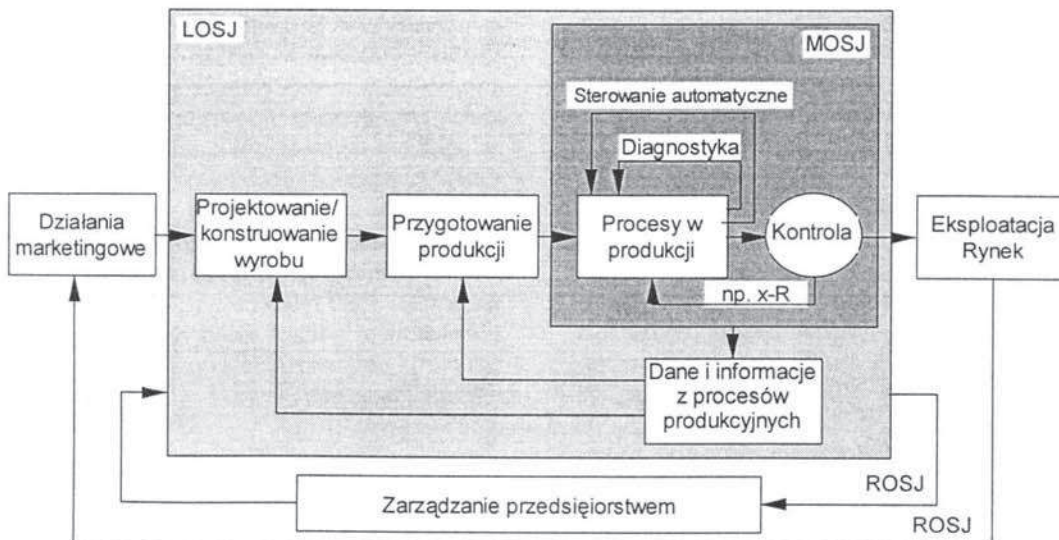
- diagnostykę stanu procesu (w tym narzędzia) oraz jakości przedmiotu obrabianego.

Diagnostyka urządzenia ma na celu odpowiednio wczesne wykrycie stanu awaryjnego lub sytuacji wskazującej na możliwość wystąpienia awarii oraz zidentyfikowanie przyczyny jej powstania w odniesieniu do układów mechanicznych i układów sterowania. Dotyczy ona zatem tak różnorodnych sytuacji jak: awaria układu sterowania, przekroczenie dopuszczalnego obciążenia zespołów (elementów), kontrolowanie siły utrzymującej przedmiot w uchwycie, określanie stanu łożyskowania układów napędowych itp.

Zadania stawiane diagnostyce stanu procesu to zazwyczaj: rozpoznanie stopnia zużycia narzędzia, wykrycie wyłamania lub pęknięcia narzędzia, wykrycie nadmiernych drgań narzędzia lub przedmiotu obrabianego, rozpoznanie postaci powstającego wióra (ważne ze względu na możliwość uszkodzenia wiórem powierzchni obrabianej, wykrywanie kolizji narzędzia z przedmiotem i wiele innych.

Łatwo zauważyć, że wszystkie z wymienionych zadań odnoszą się bezpośrednio lub pośrednio do jakości wykonania wyrobu (części wyrobu lub zespołu), gdyż każdy stan awaryjny, każde nadmierne zużycie narzędzia zwiększa w efekcie ryzyko nie spełnienia wymagań jakościowych. Układy diagnostyczne jest łatwo wkomponować w tzw. obwody sterowania jakością, które ze względu na ich zasięg oraz rodzaj informacji wykorzystywanych do podejmowania decyzji sterowniczych można podzielić na (rys.1):

- małe obwody sterowania jakością (MOSJ), wykorzystujące bezpośrednio dane zbierane na konkretnym stanowisku pracy, np. z przyrządów pomiarowych,
- lokalne obwody sterowania jakością (LOSJ), korzystające z informacji wstępnie przetworzonych,
- rozległe obwody sterowania jakością (ROSJ), charakteryzujące się długim czasem zbierania oraz wysokim stopniem przetworzenia danych i informacji wykorzystywanych do podejmowania decyzji sterowniczych



Rys. 1. Obwody sterowania jakością w systemie produkcyjnym [3]

Układy diagnostyczne są stosowane przede wszystkim w małych obwodach sterowania, gdzie mogą być znakomitym uzupełnieniem tzw. kart kontrolnych Shewharta [3]. Dostarczają bowiem danych o przyczynach wystąpienia niezgodności, a poprzez to zwiększają szanse podejmowania prawidłowych działań korygujących.

Istota diagnostyki procesu obróbki

Na proces obróbki realizowany w konkretnym systemie obróbkowym można spojrzeć jak na układ, w którym wyróżniono wielkości wyjściowe

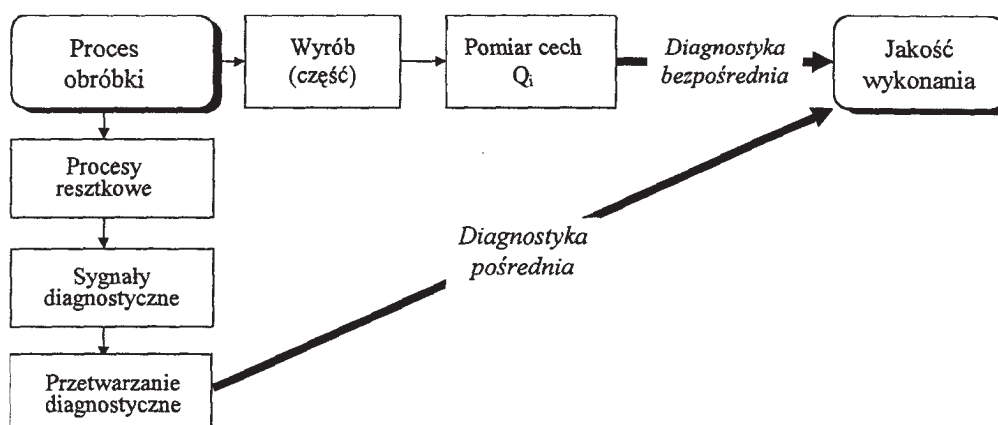
oraz czynniki wejściowe (w tym sterujące) oraz zakłócenia. Wielkości wyjściowe mają charakter użytkowy lub nieużytkowy [1]. *Wyjście użytkowe* to wyrób, np. obrabiona część, charakteryzujący się szeregiem cech, które powinny spełniać postawione wymagania jakościowe. *Wyjście nieużytkowe* to zjawiska towarzyszące procesowi obróbki, przejawiające się np. wydzielaniem ciepła powodującego wzrost temperatury narzędzia oraz obrabianej części lub w drganiach wywołujących niepożądane przemieszczenia elementów systemu obróbkowego. Zjawiska te wpływają ujemnie na przebieg procesu

obróbki oraz stan narzędzia oraz w efekcie - co z praktycznego punktu widzenia jest najważniejsze - jakość obróbki (jakość wykonania części obrabianej). Z drugiej strony, sygnały związane z tymi zjawiskami, szczególnie drgania i emisja akustyczna, są bogatym źródłem informacji o stanie systemu obróbkowego.

Celem diagnostyki procesu obróbki jest wykorzystanie informacji z wyjścia nieużytkowego do oceny jakości na wyjściu użytkowym. Układ diagnostyczny mierzy sygnały związane z procesami reszkowymi, nazywane *sygnałami diagnostycznymi (SD)*. Z sygnałów diagnostycznych wyznaczane są miary (np. wartość średnia, wartość skuteczna), które o ile są skorelowane ze stanem procesu są nazywane *miarami stanu procesu (MSP)*. Miary te są przetwarzane według specjalnie opracowanych reguł, tak aby na podstawie uzyskanych informacji

móc wnioskować o stanie procesu, np. o możliwości spełnienia przez niego wymagań jakościowych.

Efektywność układu diagnostycznego zależy od trafności wyboru oraz sposobu przetwarzania SD, na podstawie których stan procesu lub urządzenia są poddawane ocenie. Wybór mierzonej w procesie wielkości fizycznej oraz odpowiedniego czujnika pomiarowego zależy od rodzaju procesu obróbkowego (procesy odlewania, obróbki plastycznej, spawania, formowania, itp.) oraz możliwości prowadzenia pomiaru. Należy kierować się łatwością pomiaru, odpornością czujnika na działanie czynników środowiska, niezawodnością pomiaru itp. Szczególnie ważne jest aby wielkość mierzona była jak najsilniej skorelowana z wielkością, która ma być diagnozowana. W tym kontekście układy diagnostyczne można podzielić na bezpośrednie oraz pośrednie (rysunek 2).

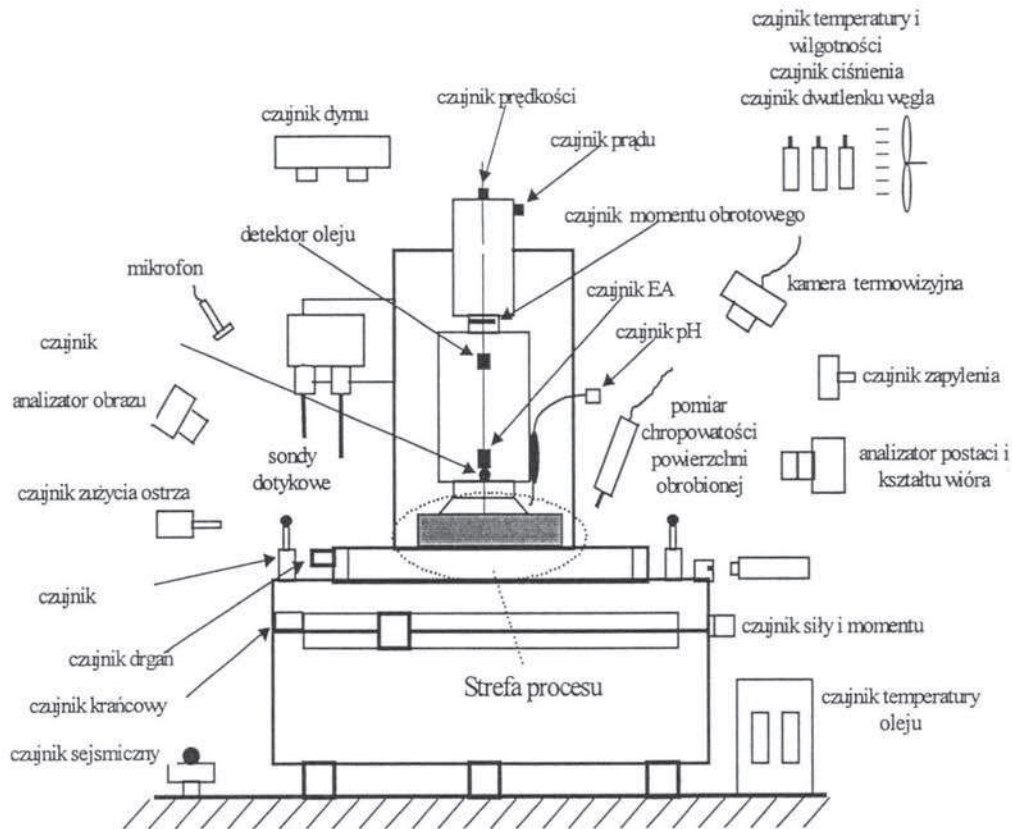


Rys. 2. Ilustracja idei diagnostyki bezpośredniej i pośredniej w systemie obróbkowym

Układy diagnostyki bezpośredniej bazują na pomiarze cech wyjścia użytkowego, określających bezpośrednio wymagania jakościowe. W zasadzie zalicza się je do tzw. kontroli czynnej. Przykładem może być pomiar metodami optycznymi, laserowymi lub dotykowymi chropowatości powierzchni obrabianej. Metody pośrednie dają wiarygodne wyniki - cała niepewność związana jest tylko z dokładnością pomiaru. Są jednak mało elastyczne, gdyż wymagają stosowania specjalizowanych urządzeń, które każdorazowo muszą być adaptowane do warunków pracy. Z tego też względu, układy diagnostyczne opierają się prawie wyłącznie na metodach pośrednich, które są mniej dokładne niż bezpośrednie, ale zdecydowanie bardziej uniwersalne. W diagnostyce procesu obróbkowego, stan cechy określającej jakość wykonania jest estymowany na podstawie miar SD, takich jak siła, amplituda drgań, poziom emisji akustycznej itp. W wielu procesach obróbkowych miary te są skorelowane z wynikami obróbki. Potrzebne za-

leżności można ewentualnie określić na podstawie wiedzy o procesie z wyników odpowiednio przeprowadzonych eksperymentów.

Różnorodność czujników wykorzystywanych dzisiaj w diagnostyce technicznej sprawia, iż można nimi mierzyć większość zjawisk towarzyszących procesowi obróbki i związanych z funkcjonowaniem urządzeń technologicznych. Na rysunku 3 zilustrowano to na przykładzie obróbki przeprowadzanej na frezarce. Niektóre z czujników mierzą bezpośrednio jakość wykonania obrabianej części (np. czujnik chropowatości powierzchni, sondy dotykowe) inne pozwalają określić stan techniczny urządzenia i jego otoczenia (np. czujnik temperatury oleju, czujnik zapylenia). Większość mierzy sygnały, które mogą być wykorzystane do różnych celów. Przykładowo sygnał drgań pozwala określić stopień stępienia narzędzia, rozpoznać wystąpienie jego wyłamania jak i ocenić stan obrabiarki (np. układów łożyskowania).



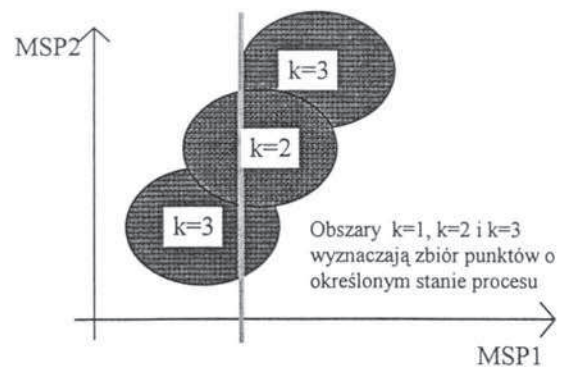
Rys. 3. Czujniki wykorzystywane w diagnostyce procesu skrawania [6]

Modele diagnostyczne

Skuteczność diagnostyki procesu obróbki zależy z jednej strony od możliwości „zdobycia” odpowiednich sygnałów diagnostycznych a z drugiej od sposobu ich przetwarzania. Przetwarzanie może być prowadzone w dziedzinie czasu, częstotliwości lub amplitudy z wykorzystaniem różnorodnych - wielu mniej lub bardziej złożonych - metod analizy sygnałów. Są one opisane szeroko w bogatej literaturze [1, 6].

Przetwarzanie kończy się wnioskowaniem (nazywanym również wnioskowaniem diagnostycznym), mającym na celu wyciągnięcie - na podstawie posiadanych danych - wniosków o aktualnym stanie procesu (aktualnej zdolności do uzyskania wymaganej jakości technologicznej) lub ewentualnie o jego stanach przyszłych. Ideę rozpoznawania stanu procesu oraz związane z tym ograniczenia przedstawia rysunek 4. Problem polega na tym, że ocena procesu dokonywana na podstawie danych pomiarowych nigdy nie jest jednoznaczna. Wynika to z naturalnych właściwości procesów obróbki, charakteryzujących się znacznym udziałem zjawisk losowych. Na rysunku zaznaczono trzy zbioru (k_1 , k_2 , k_3) odpowiadające trzem stanom - określonym według przyjętych kryteriów technologicznych (jakościowych) - ja-

kiegoś hipotetycznego procesu. Układ diagnostyczny ma do dyspozycji dwie miary stanu procesu MSP1 i MSP2. Widać, że niektórym parom wartości (MSP1, MSP2) można przypisać dwa stany procesu. Jeśli wykorzystać tylko jedną miarę, np. MSP1, ocena procesu staje się praktycznie niemożliwa, gdyż większości jej wartości można przypisać co najmniej dwa z trzech zdefiniowanych stanów procesu. Ogólnie, można oczekiwać, że im większa liczba branych pod uwagę miar MSP, tym większa możliwość prawidłowej oceny procesu.



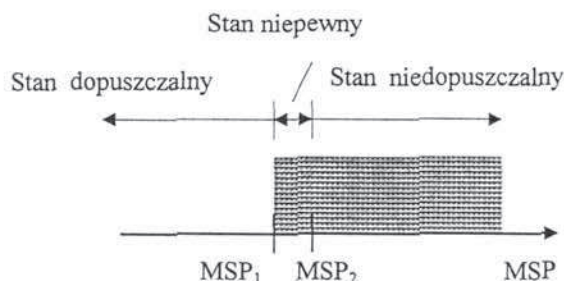
Rys. 4. Niejednoznaczność (rozmytość) rozpoznania stanu procesu

W związku z wielością i różnorodnością problemów diagnostycznych, w praktyce konieczne jest wykorzystywanie przy wnioskowaniu różnych modeli diagnostycznych. Ich charakterystyczne cechy, to liczba miar na wejściu modelu diagnostycznego, postać informacji uzyskiwanej z modelu diagnostycznego, sposób oceny stanu procesu (dyskretny, ciągły, probabilistyczny, rozmyty), postać modelu diagnostycznego.

W praktyce diagnostyki procesów obróbki mechanicznej stosuje się modele opisane poniżej.

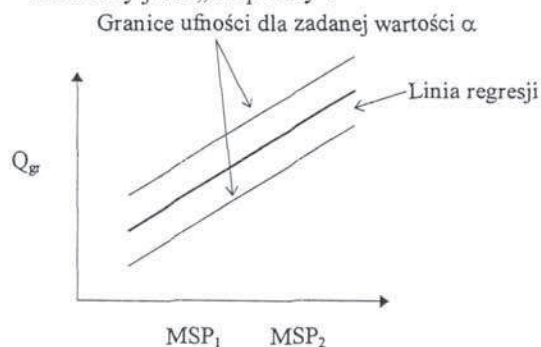
a) Wartość liczbowa lub przedział liczbowy

Określana jest wartość lub przedziały wartości MSP, rozdzielające różne stany procesu (rys. 5). Po osiągnięciu przez MSP którejś z wartości granicznych układ diagnostyczny informuje operatora procesu i ewentualnie sam podejmuje działanie (np. zatrzymanie procesu).



Rys. 5. Model określony wartością graniczną lub przedziałem granicznym

Wartości graniczne (MSP_1 , MSP_2) są wyznaczone na przykład na podstawie zależności korelacyjnej pomiędzy MSP a cechą Q stanowiącą podstawę oceny jakości wykonania. Na rysunku 6 prawdopodobieństwo przekroczenia granicznej wartości Q_{gr} dla wartości MSP_1 wynosi α (np. 0.05). Dla wartości MSP_2 prawdopodobieństwo to przyjmuje wartość $(1-\alpha)$. Stąd wartości MSP_1 i MSP_2 stanowią dobre granice przedziału wyznaczającego na rysunku 5 stan procesu określony jako „niepewny”.

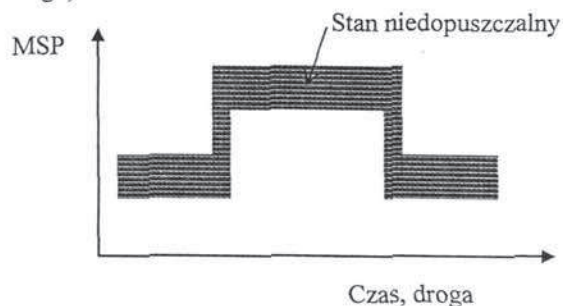


Rys. 6. Wyznaczane wartości granicznych przy pomocy funkcji regresji

b) Funkcja wzorcowa:

Wyznaczane jest pasmo zmian, w którym w kolejnych chwilach mogą znajdować się wartości wybranej MSP. Wyjście MSP poza dopuszczalne pasmo stanowi informację o zmianie stanu procesu lub o jego nieprawidłowym przebiegu. Pasmo to może być ograniczone dwustronnie, tak jak na rysunku 7 –

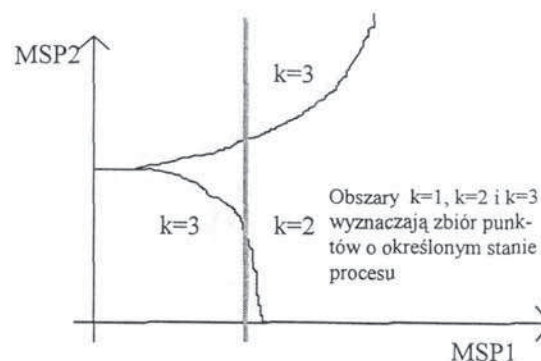
np. w procesie toczenia kształtowego, gdy jakość powierzchni związana jest z grubością warstwy skrawanej, która zmienia się na długości przedmiotu obrabianego. Może też mieć tylko granicę górną (np. przy diagnozowaniu obciążenia ostrza) lub dolną (np. przy diagnozowaniu styku ostrza z materiałem obrabianym - zejście MSP poniżej wartości granicznej oznacza, że ostrze nie pracuje, gdyż jest wyłamane, źle ustawione lub w uchwycie nie ma przedmiotu obrabianego).



Rys. 7. Model diagnostyczny w postaci funkcji wzorcowej

c) Wzorce stanu

– Wyznacza się funkcje rozdzielające w przestrzeni n - wymiarowej zdefiniowane wcześniej stany procesu (n - liczba wejść modelu, tzn. liczba rozpatrywanych MSP) (patrz rysunek 8).



Rys.8. Model diagnostyczny w postaci funkcji rozdzielających

Funkcje rozdzielające wyznacza się w procedurze „uczenia”, na podstawie tzw. zbioru uczącego.

Najbardziej efektywnym narzędziem ich wyznaczania jest sztuczna sieć neuronowa.

Podsumowanie

Zastosowanie układu diagnostycznego w systemie obróbkowym pozwala na utrzymanie stabilnej jakości wykonania przy jednoczesnym zapewnieniu dużej wydajności i bezpieczeństwa procesów obróbki. Korzyści wynikające ze stosowania diagnostyki muszą być jednak wymierne i przewyższać nakłady jakie muszą być poniesione, np. na zakup oprzyrządowania (czujników, aparatury pomiarowej), adaptację urządzeń technologicznych pozwalającą na zamocowanie czujników, przeszkolenie personelu itd. Przed zakupem lub wdrożeniem układu diagnostyki konieczne jest zatem przeprowadzenie analizy kosztów i dopiero na podstawie jej wyników podjąć odpowiednią decyzję.

Stosowane obecnie układy diagnostyczne nie są jeszcze wystarczająco niezawodne. To jest główną przyczyną, że nie są tak rozpowszechnione jak mogłoby to wynikać z ich możliwości. Należy jednak przypuszczać, że do zwiększenia ich niezawodności i skuteczności przyczyni się rozwój procesorów sygnałowych, miniaturyzacja elementów elektronicznych, niezawodnych i odpornych na uszkodze-

nia czujników, co umożliwi coraz szersze stosowanie systemów inteligentnych opartych o sztuczne sieci neuronowe, systemy eksperckie, logikę rozmytą. Istotną rolę w ich rozwoju odegra zapewne także rozwój nowych metod przetwarzania informacji, nowych metod wnioskowania diagnostycznego lub też nowych technik podejmowania decyzji. Należy się więc spodziewać że w niedalekiej przyszłości większość systemów obróbkowych będzie standardowo wyposażona w systemy diagnostyczne, co dla zapewnienia jakości będzie miało na pewno istotne znaczenie.

Literatura

1. Cempel C., Diagnostyka wibroakustyczna maszyn. PWN Warszawa 1989
2. Hamrol A., Sterowanie jakością w procesie szlifowania, *Mechanik*, Nr 1, 1994
3. Hamrol A., Mantura W., Zarządzanie jakością¹. Teoria i praktyka. PWN Warszawa - Poznań 1998
4. Hamrol A., "Wykorzystanie metody rozpoznawania obrazów w diagnostyce procesu szlifowania", *Postępy Technologii Maszyn i Urządzeń*, Vol.17, Nr 3, 1993
5. Kosmol J., Monitorowanie ostrza skrawającego. WNT Warszawa 1996