

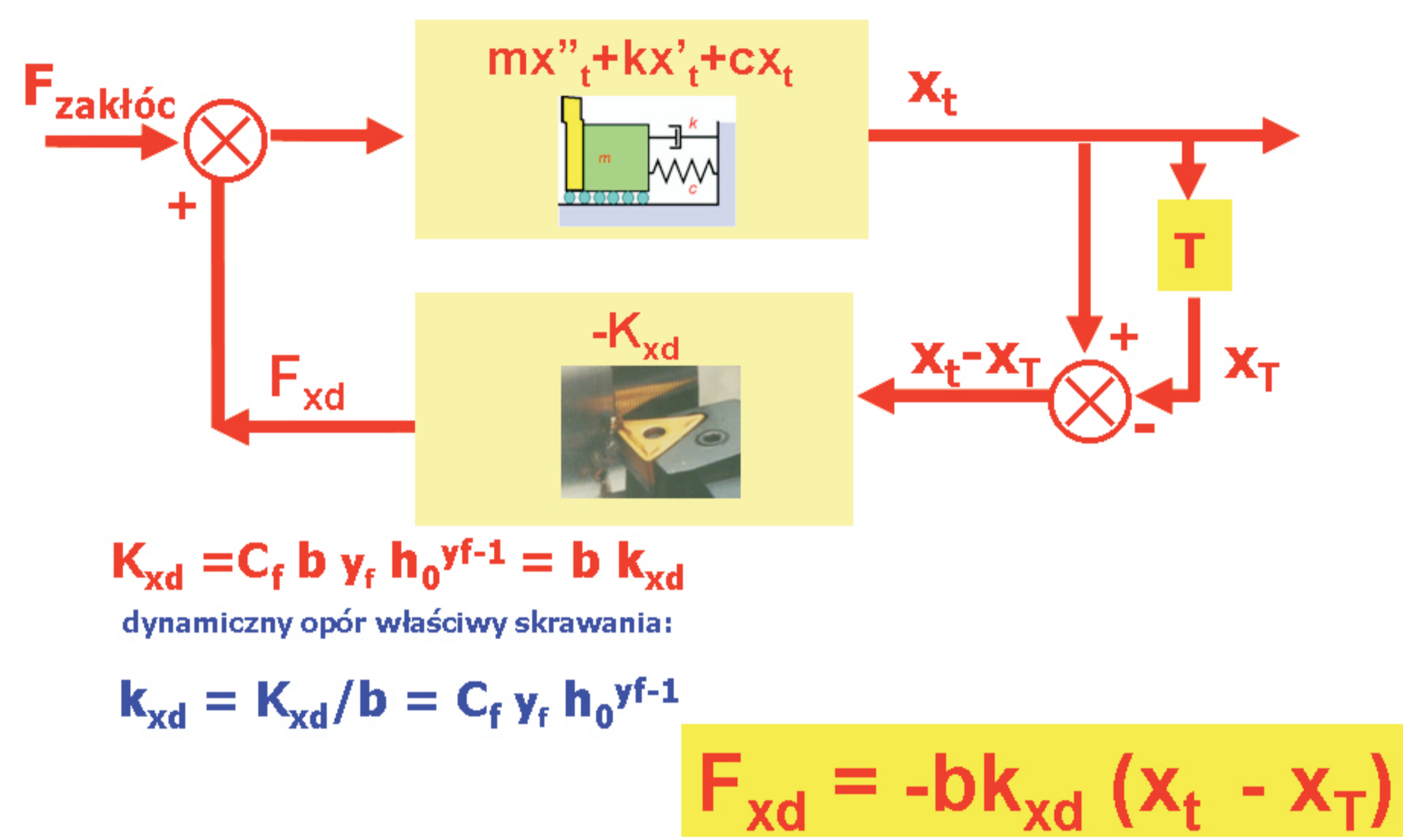
Nowoczesna obróbka mechaniczna stopów magnezu i aluminium

Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska

Wyniki badań

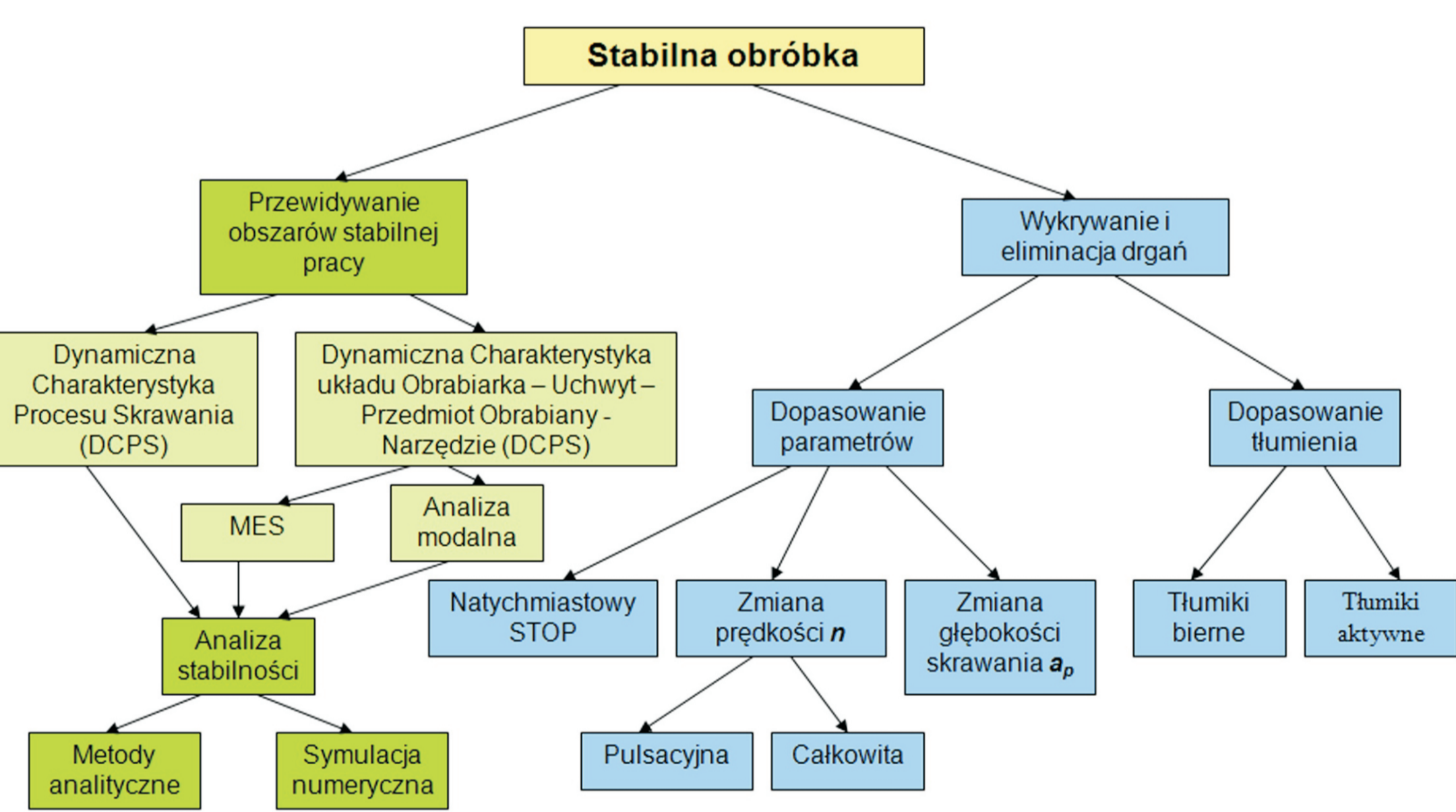
Nowoczesna obróbka mechaniczna stopów magnezu i aluminium Wybrane zagadnienia dynamiki obrabiarek

Rozwój przemysłu przejawia się m.in. nieustannym podnoszeniem produktywności systemów wytwarzania, od których wymagana jest coraz większa dokładność i niezawodność oraz malejąca energochłonność [1]. Do wzrostu wydajności systemu obróbkowego bezpośrednio przyczynia się zwiększenie szybkości skrawania, jednocześnie podnosząc znaczenie dynamiki procesu skrawania (układu OUPN – rys. 1). Podczas pracy obrabiarek pojawiają się drgania, które negatywnie wpływają na przebieg procesu skrawania oraz jego efekt końcowy – przedmiot obrabiany. W wielu wypadkach obróbka skrawaniem jest jednak wybierana jako obróbka końcowa nadająca przedmiotom ostateczny kształt, wymiary oraz własności powierzchni i warstwy wierzchniej. Rozwój technologii doprowadził do wyodrębnienia i jednakowego traktowania zagadnień szybkościowych (HSx) i dotyczących materiału (Hx). W zakresie szybkościowym wyodrębnić można z HSM (High Speed Machining) obróbki HSC (High Speed Cutting), HSS (High Speed Spindle), HFM (High Feed Machining), HSPM (High Speed and Feed Machining) oraz HPM (High Productive Machining), zagadnienia te rozpatrywane są przede wszystkim w związku z parametrami obróbkowymi. Obszar materiałowy dotyczy obróbek materiałów twardych, o twardości od 45 do 63 HRC, stosuje się w nim określenie HC (Hard Cutting), obejmujące HT (Hard Turning), HM (Hard Milling), a także HD (Hard Drilling).



Rysunek 1. Schemat dynamicznego układu OUPN.

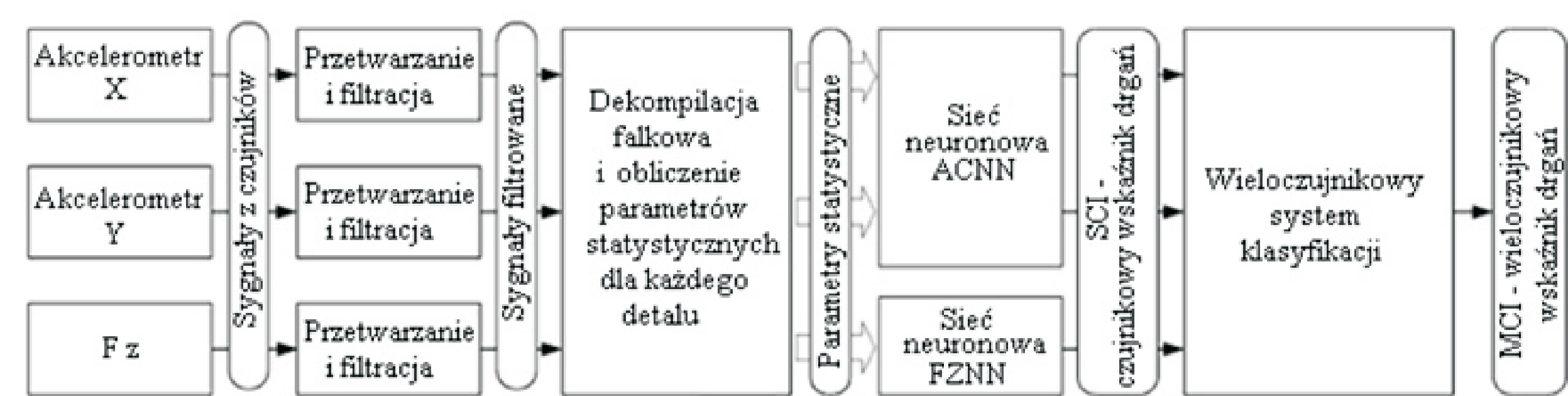
Dynamiczne właściwości obrabiarek można oceniać na podstawie:
a) charakterystyk dynamicznych (częstości drgań własnych, funkcji przejścia układu – podatnościowej charakterystyki częstotliwościowej) przez wymuszenie drgań członów układu dynamicznego obrabiarki pod wpływem zmiennej siły i określenie odpowiedzi na to wymuszenie (pomiar amplitudy przemieszczenia i fazy)
b) analizy widmowej sygnału (zapisu drgań układu lub odpowiedzi na zadany sygnał wejściowy)
c) wyznaczonej postaci drgań
d) analizy modalnej drgań układu
Niektóre parametry procesu skrawania można wybierać dowolnie, aby zwiększyć wydajność procesu i zachować stabilność obróbki (należą do nich m.in.: kształt powierzchni natarcia narzędzia i kąt przystawienia, szybkość skrawania - dla narzędzi z węglików spiekanych, czy kąt wcinania). Niektóre parametry natomiast ze względów wydajnościowych należałoby zwiększać a ze względów stabilności obróbki zmniejszać (np. szerokość warstwy skrawanej, głębokość skrawania, szybkość skrawania - narzędziami ze stali szybko tnącej, liczba zębów freza czy ujemny kąt natarcia). Z tego względu opracowano wiele metod mających na celu wykrywanie, zapobieganie, tłumienie lub kontrolowanie pojawiających się drgań – czyli zapewnienie warunków stabilnej obróbki (rys. 2).



Rysunek 2. Metody zapewnienia stabilnej obróbki.

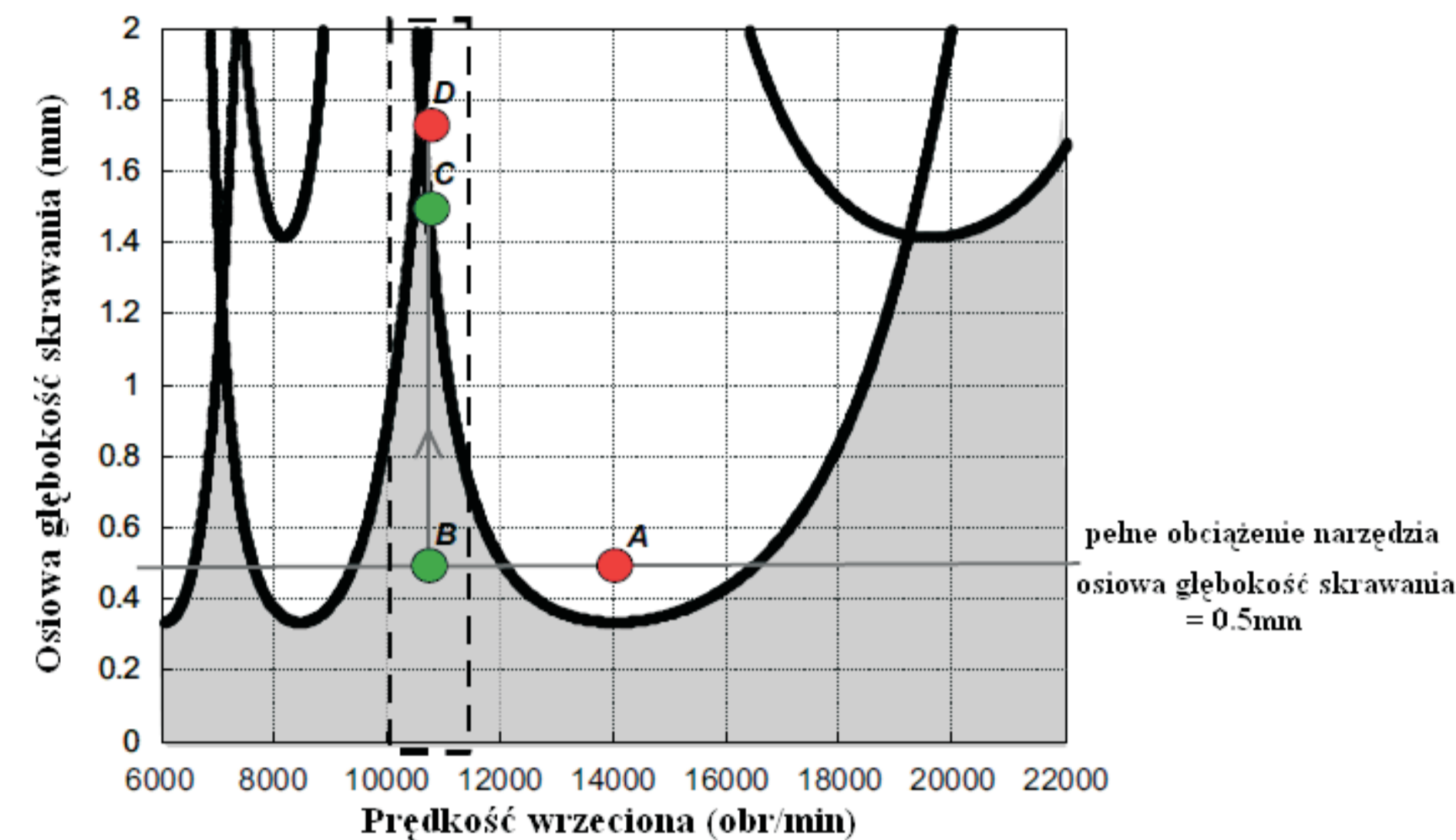
Wykrywanie i eliminacja drgań

Najbardziej popularne metody pasywnego tłumienia drgań polegają na zwiększaniu tłumienia i sztywności elementów systemu obróbkowego (uchwyty przedmiotu obrabianego, systemu narzędzia, łożysk wrzeciona). Ogólnie niezawodność strategii pasywnego tłumienia drgań nie jest duża. Nieco lepsze efekty zapewnia tłumienie aktywne. Innym podejściem jest zmiana wielkości podziałki narzędzi i modulacja prędkości obrotowej wrzeciona. Pośród najczęściej wybieranych rodzajów analiz sygnałów, pomagających w wykrywaniu i eliminacji drgań, wymienić można analizę widma częstotliwościowego, koherencję sygnałów drgań w dwóch różnych osiach czujników, analizę zmian siły skrawania w czasie, analizę zmian amplitudy drgań z bezdotykowych czujników zbliżeniowych oraz analizę falkową. Budowane są również wieloczułkowe systemy wykrywania drgań, współpracujące z sieciami neuronowymi (rys. 3).



Rysunek 3. Przykład wieloczułkowego systemu wykrywania drgań z zastosowaniem sieci neuronowych: ACNN – sieć neuronowa do określenia statystycznych parametrów z obu akcelerometrów, FZNN – sieć neuronowa do siły osiowej [2].

Jedną z metod zapewnienia stabilnego przebiegu procesu skrawania jest przesunięcie obróbki na krzywych workowych w obszary pracy stabilnej przez zmiany prędkości obrotowej (rys. 4) lub zmiany głębokości skrawania. Z uwagi na zmienność warunków obróbki i nieliniowy charakter procesu skrawania, najkorzystniejsza jest kontrola stabilności pracy obrabiarki przez regulację prędkości obrotowej wrzeciona. Może to być realizowane na dwa sposoby:
a) off-line (najpierw wykrycie drgań, zatrzymanie posuwu, zmiana prędkości obrotowej i wznowienie procesu skrawania)
b) on-line (korekcja prędkości obrotowej na bieżąco, bez zatrzymania posuwu)



Rysunek 4. Algorytm tłumienia drgań przez zmiany prędkości obrotowej: A – początek skrawania, obszar niestabilny, B – zmniejszenie prędkości obrotowej przy tym samym obciążeniu narzędzia – wejście w obszar stabilny, C i D – optymalizacja procesu [3].

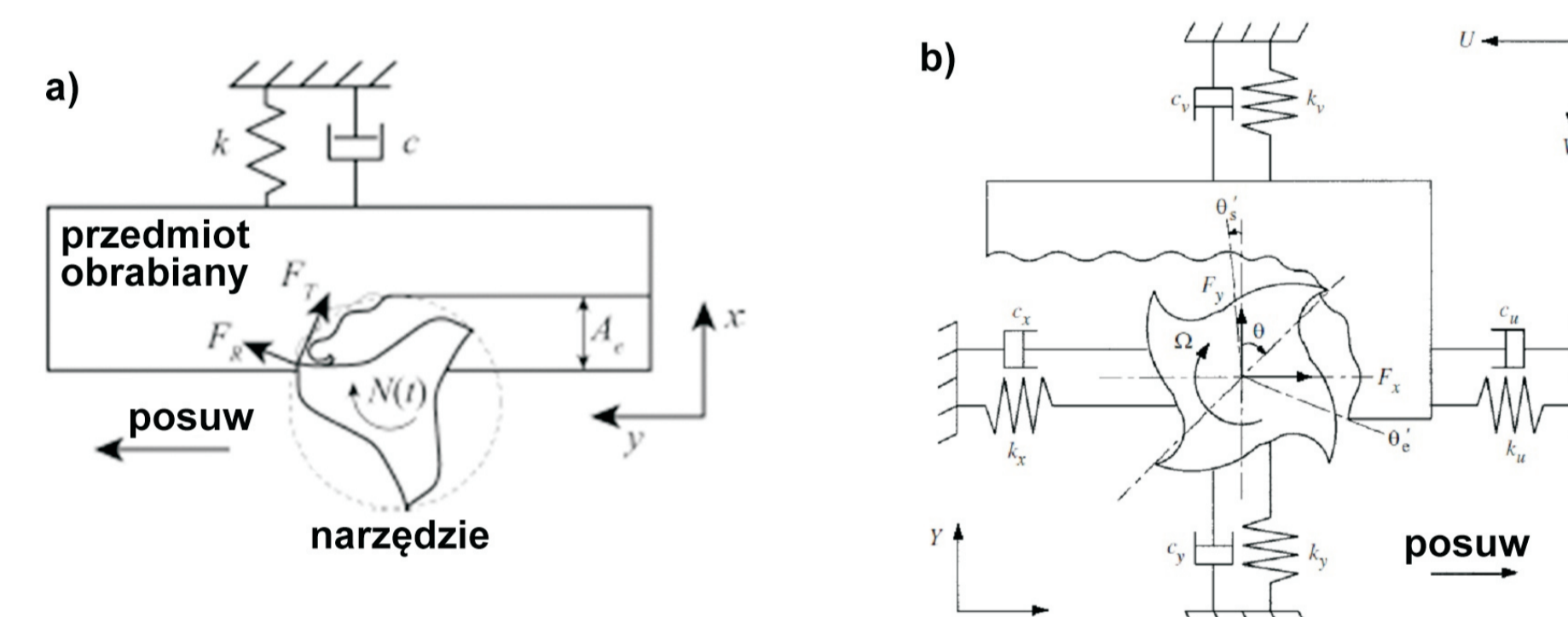
W praktyce stosowane są dwie metody:

- 1) single time-varying parameter (STVP) – pojedynczych parametrów zmiennych w czasie (regulacja prędkości obrotowej lub zmiana posuwu)
- 2) multiple time-varying parameter (MTVP) – wielu parametrów zmiennych w czasie (np. zmienna w czasie prędkość obrotowa i zmienny w czasie kąt natarcia narzędzia).

Przewidywanie obszarów stabilnej pracy

Opracowano wiele metod określenia stabilności systemów, często sprowadzające się do wyznaczenia tzw. krzywych workowych i określenia aktualnego położenia względem tych krzywych (np. metoda ZOA – aproksymacji zerowego stopnia, metoda SD – półdyskretyzacji, metoda bifurkacji czy metody wykorzystujące analizę elementów skończonych i metodę elementów skończonych). Dużą popularnością cieszy się analityczno – eksperymentalna metoda opierająca się na wykorzystaniu uderzenia młota wyposażonego w piezoelektryczny czujnik siły.

Metody numeryczne i analityczne, służące do przewidywania drgań, mają ograniczone zastosowanie w przemyśle, póki wymagają dokładnego modelu dynamiki systemu obróbkowego i sił skrawania. Rozbudowane modele uwzględniają nie tylko rodzaj obróbki, liczbę zębów narzędzia i tłumienie, ale również aktualną pozycję zęba, bicie narzędzia oraz ślad po poprzedniej obróbce i kształt wióra.



Rysunek 5. Przykłady modelu mechanicznego procesu skrawania: z usztywnionym narzędziem (a) [4] oraz czterosiowy z efektem regeneracji drgań (b) [5].

Problematykę drgań można rozpatrywać z punktu widzenia:

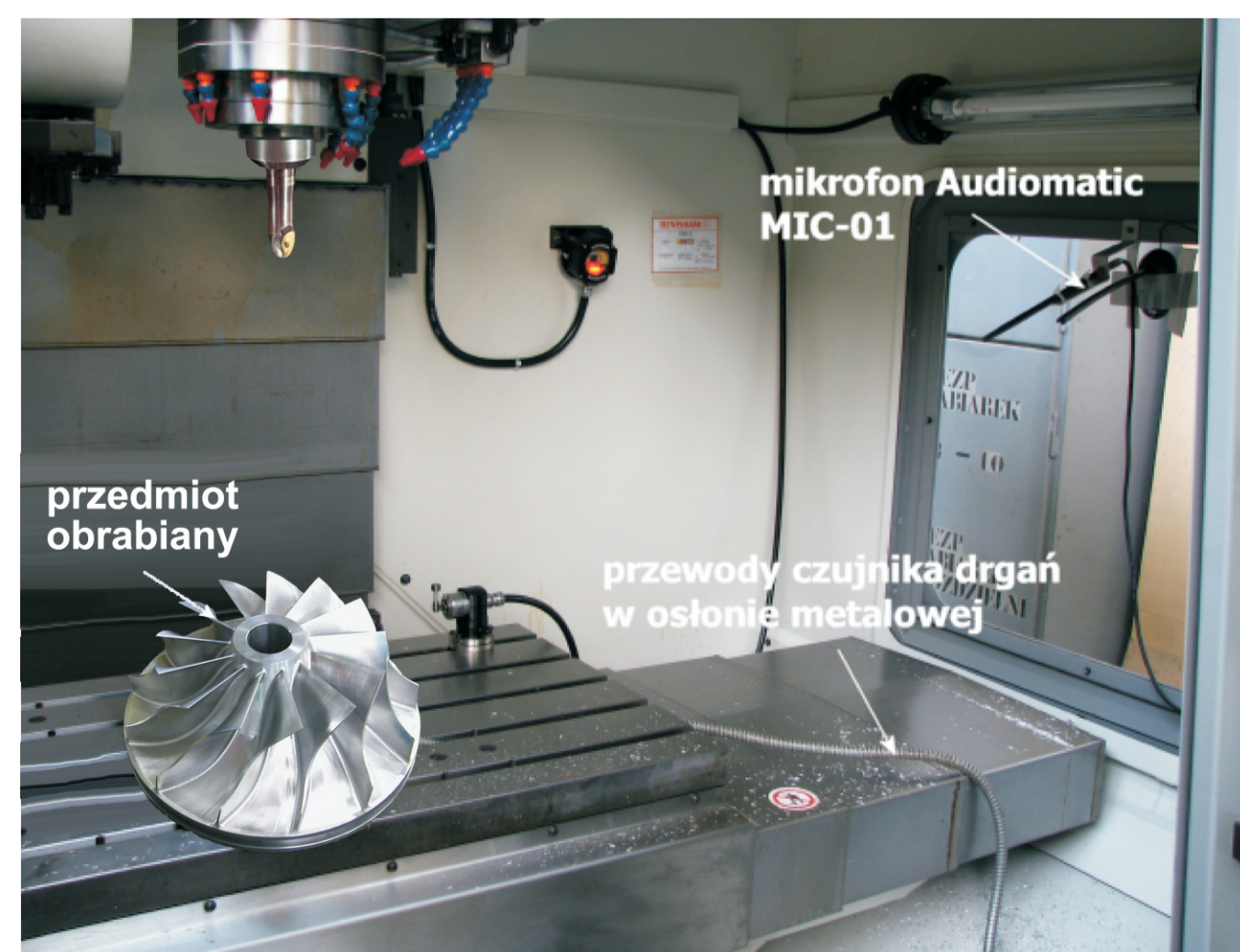
- a) tradycyjnego sprzężenia zwrotnego systemu
- b) dziedziny częstotliwości
- c) energii
- d) równania charakterystycznego układu

Wnioski

Na dynamikę systemu OUPN można wpływać na wiele sposobów: przez zwiększanie sztywności obrabiarki, zmiany konstrukcyjne, używanie tłumików drgań, zmianę geometrii narzędzi, zmiany sił kierunkowych oraz zmiany parametrów skrawania. Wszystkie te zabiegi mają na celu zapewnienie stabilnej obróbki, pozwalającej na pełne wykorzystanie zalet obróbek szybkościowych w przemyśle lotniczym.

Przykłady zastosowania w lotnictwie

Nadzorowanie obrabiarek pod kątem stabilnej obróbki jest szczególnie ważne w przypadku przemysłu lotniczego, gdzie często duże gabarytowo elementy muszą być wykonywane w całości z jednego półfabrykatu przy konieczności usunięcia znacznych nadadków. Drgania ograniczają możliwość podwyższenia parametrów skrawania, przyspieszają zużycie elementów obrabiarki, przyspieszają zużycie narzędzi, podnoszą koszty z punktu widzenia czasu, materiałów i energii, wywierają negatywny wpływ na środowisko przez złomowanie części wadliwych lub potrzebie ponownej obróbki. Z tego względu przed układami diagnostyki i nadzoru stabilnej pracy obrabiarek stawiane są nie tylko zadania wykrywania niepokojących symptomów i zapewnienia stabilnej pracy ale również optymalizacji procesu (rys. 6).



Rysunek 6. Wykrywanie drgań za pomocą czujnika drgań i mikrofonu (a) oraz przykładowy algorytm optymalizacji procesu (b). MRR – szybkość usuwania materiału, FRF – funkcja odpowiedzi częstotliwościowej, CSSV – strategia ciągłej zmiany prędkości wrzeciona.

Wyniki badań

Analiza technologii wysokowydajnego frezowania stopów AI.

Technologie stosowane w wiodących w regionie zakładach produkcyjnych wytwarzających elementy silników lotniczych: PZL Mielec, Hispano-Suiza Polska Sp. z o. o., Ultratech Sp. z o. o., RCL INDUSTRIES LIMITED SP. Z O.O.

- Obróbka stopów aluminium 6082 T6, 7010/7050 T7651, 2024 T351,
- Wytwarzane elementy tworzą głównie 2 grupy – wyrobu strukturalne oraz odlewy lub korpusy wykonywane z pełnego materiału.

Narzędzia - węglkowe, pokrywane. W większości przeważają narzędzia monolityczne. Obróbka chłodzeniem emulsją. Brak wysokiego ciśnienia w celu wspomaganie usuwania wiórów ze strefy skrawania. Bardzo mały udział narzędzi z PKD.

Obróbka wykonywana na standardowych centrach frezarskich CNC, sporadycznie trafiają się maszyny na liniowych napędach. Brak maszyn typowo do wysokowydajnej obróbki stopów AI – (liniowe napędy, wysokobrotowe mocne wrzeciona, dodatkowe transportery wiórów).

Brak systemów optymalizacyjnych, parametry dobierane katalogowo, doświadczalnie, bez użycia dodatkowej aparatury.

Problemy z deformacjami wyrobów po obróbce. Brak wytycznych dotyczących sposobu programowania lub oprogramowania symulujące odształcanie wyrobów po obróbce.

Uruchomienie stanowiska badawczego

- Opracowanie danych wejściowych do badań symulacyjnych w oprogramowaniu ProductionModule3D (kinematyki maszyny, charakterystyki wrzeciona, wykresów stabilności dynamicznej wrzeciona, zakresu osi, rodzaju sterowania i wczytywania kodu NC).



Parametry centrum.

Prędkość posuwu:
Oś X, Y, Z programowana bezstopniowo 80 (m/min)
Oś A, C programowana bezstopniowo przy dużej prędkości 110 (obr/min)
Maksymalne przyspieszenie X, Y, Z 13 m/s²
Ilość osi sterowanych 5
Zakresy osi X, Y, Z 450 mm, 580 mm, 400 mm A, C +10°/-110°, 360°
Wymiary stołu 400 × 400 mm²
Moment na osi X: 10 kN Y: 2 × 7,7 kN
Wrzeciono
Moc Wrzeciona 35 kW (40 % ED), 27 kW (100 % ED)
Moment obrotowy 48 Nm (40 % ED), 38 Nm (100 % ED)
Prędkość obrotowa 28.000 min⁻¹

Zadania do wykonania na rok 2011

- Propozycje uszczegółowienia SPB w danym ZB na rok 2011
- Uruchomienie stanowiska badawczego na PRZ.
- Pomiar sił skrawania.
- Pomiar stabilności dynamicznej obrabiarki, narzędzi i przedmiotu.
- Opracowanie programów sterujących maszyną CNC.
- Wykonanie symulacji sił skrawania.
- Optymalizacja programów.
- Testy wykonania wyrobów.
- Testy skrawania narzędziami węglkowymi i określonej geometrii ostrza.
- Testy skrawania narzędziami z wkładkami z PKD z erodowaną krawędzią ostrza.
- Testy skrawania narzędziami z wkładkami z PKD z polerowaną krawędzią ostrza.
- Analiza stanu warstwy wierzchniej.

Wskaźniki realizacji celów projektu

Referaty

- Radosław Morek, Mirosław Nejman, Dominika Śniegulska-Grądzka, Rafał Wypysiński:
Wybrane zagadnienia dynamiki obrabiarek, II Warsztaty Zadań Badawczych ZB1, ZB2, ZB5 Projektu Kluczowego, Lublin, 13.10.2010.

Prace mgr, dr, hab.

Prace magisterskie obronione:

- Piotr Marzęcki: **Dobór stabilnych parametrów, do szybkościowej obróbki aluminium**, promotor prof. dr hab. inż. Krzysztof Jemielniak

Prace magisterskie planowane

- **Projekt stanowiska do analizy modalnej**, Promotor: dr inż. Radosław Morek, planowany termin zakończenia 2011