



Metodyka pomiarów ultradźwiękowych oscylacji narzędzi obróbkowych urządzeniem LDV

Piotr Nazarko*, Roman Wdowik**, Janusz Porzycki**

*Katedra Mechaniki Konstrukcji, Politechnika Rzeszowska

**Katedra Techniki Wytwarzania i Automatykacji, Politechnika Rzeszowska

Streszczenie: W artykule przedstawiono metodykę wyznaczania widma częstotliwości ultradźwiękowych oscylacji narzędzi obróbkowych stosowanych w hybrydowych procesach obróbki ubytkowej. W celu określenia widma częstotliwości zastosowano laserowy wibrometr skanujący LDV (ang. *Laser Doppler Vibrometer*).

Słowa kluczowe: obróbka ze wspomaganie ultradźwiękowym, obróbka ubytkowa, wibrometr laserowy, widmo częstotliwości

1. Wprowadzenie

Hybrydyzacja konwencjonalnych technologii jest drogą osiągnięcia nowych możliwości technologicznych w systemach produkcyjnych. Procesy hybrydowe mogą ulepszyć procesy produkcyjne w odniesieniu do skracania łańcucha operacji technologicznych lub wykonywania zabiegów, które nie mogą zostać wykonane w procesach konwencjonalnych [3]. Do hybrydowych technologii wytwarzania należą hybrydowe procesy obróbki ubytkowej, w tym procesy obróbkowe ze wspomaganie drganiami (oscylacjami) ultradźwiękowymi. Można wskazać ich zastosowanie między innymi w procesach frezowania, toczenia, wiercenia i szlifowania [1].

Gdy częstotliwość drgań jest większa od 16 kHz, to taki proces określany jest jako „obróbka ze wspomaganie ultradźwiękowym” (ang. *Ultrasonic Assisted Machining*). Składają się na nią procesy, w których wymuszony ruch oscylacyjny przedmiotu lub narzędzia o częstotliwości ultradźwiękowej stanowi czynnik wspomagający usuwanie nadmiaru obróbkowego. Przykładami tych procesów są: frezowanie ze wspomaganie ultradźwiękowym (ang. *Ultrasonic Assisted Milling*), toczenie ze wspomaganie ultradźwiękowym (ang. *Ultrasonic Assisted Turning*), wiercenie ze wspomaganie ultradźwiękowym (ang. *Ultrasonic Assisted Drilling*), szlifowanie ze wspomaganie ultradźwiękowym (ang. *Ultrasonic Assisted Grinding*).

Drgania ultradźwiękowe wytwarzane są przez zamianę energii elektrycznej w piezo-przetwornikach lub magneto-przetwornikach. Obecnie najczęściej energia elektryczna jest przetwarzana na drgania mechaniczne przez wykorzystanie odwrotnego zjawiska piezoelektrycznego [3, 5].

W przypadku prowadzenia procesu obróbki ze wspomaganie oscylacjami narzędzia lub przedmiotu, konieczne

jest określenie wartości parametrów nastawnych generatora ultradźwięków, zapewniających uzyskanie wymaganych wartości parametrów ruchu oscylacyjnego, do których należy zaliczyć amplitudę i częstotliwość oscylacji.

Pomiar oraz rejestrowanie drgań ultradźwiękowych ma istotne znaczenie w analizie procesu obróbki. W tym celu stosować można mikroskopię optyczną, czujniki indukcyjne, pojemnościowe czy też kamery do rejestrowania procesów szybkozmiennych [6]. Jedną z technik pomiarowych umożliwiających rejestrowanie i analizę drgań wybranych elementów maszyn, narzędzi, a także gabarytowo dużych konstrukcji, jest wibrometria laserowa [5, 6].

W literaturze brakuje wyraźnie określonej metodyki oraz opisu warunków i ograniczeń pomiarów oscylacji dla potrzeb realizacji procesów obróbki ze wspomaganie ultradźwiękowym. Pojawiają się informacje mówiące o testowaniu wibrometrów [6] lub też stwierdzenia o braku możliwości dokonywania pomiarów podczas realizacji procesu obróbki, z uwagi na zakłócenia spowodowane cieczą chłodząco-smarującą [2]. Obecnie brakuje także możliwości kontrolowania wartości amplitudy oscylacji przez operatora obrabiarki.

W celu znalezienia częstotliwości prądu generatora ultradźwięków, dla której amplituda oscylacji narzędzia osiągnie wartość wymaganą przez technologa (np. dobierana będzie jako największa dla dostępnego zakresu częstotliwości operacyjnych) można przeprowadzić analizę widma częstotliwości oscylacji narzędzia.

Do analizy ruchu oscylacyjnego, opisanego w niniejszej pracy, zastosowano laserowy wibrometr skanujący Poltec PSV-400. Pomimo istniejących ograniczeń spowodowanych zasadą działania wibrometru, jego zastosowanie w zakresie pomiaru amplitudy oraz częstotliwości oscylacji narzędzi jako parametrów nastawnych procesów obróbki ze wspomaganie ultradźwiękowym jest celowe i bardzo interesujące. Wynika to z możliwości analizy drgań ultradźwiękowych w wielu kierunkach oraz w odniesieniu do wybranych punktów na powierzchni narzędzia. Dzięki temu uzupełniona może być wiedza o funkcjonowaniu układu wzbudzenia oscylacji na obrabiarce sterowanej numerycznie, pozyskana na podstawie zastosowania alternatywnych metod pomiarowych.

2. Stanowisko badawcze

2.1. Zastosowanie wibrometrii laserowej

Podczas pomiaru wibrometrem laserowym LDV wykorzystywany jest efekt Dopplera, który polega na powstawaniu różnicy częstotliwości fali wysyłanej przez jej źródło (głowicę laserową) oraz fali odbitej od obserwowanego obiektu, poruszającego się względem źródła fali [5]. Jeżeli zatem punkt pomiarowy drga, a jednocześnie odbita wiązka lasera trafiająca do fotodetektora ma wystarczającą moc, możliwe jest wyznaczenie prędkości drgań w założonych węzłach siatki punktów pomiarowych (jednym lub wielu). Ogromną zaletą wibrometrii laserowej jest możliwość prowadzenia pomiarów bezstykowych. Jest to bardzo istotne zwłaszcza w odniesieniu do elementów małych lub bardzo wiotkich. Eliminuje to konieczność lokowania na badanym obiekcie czujników drgań oraz związanej z tym infrastruktury pomiarowej. Wadą jest brak możliwości przeprowadzenia pomiaru w punktach, które są niedostępne dla wiązki lasera – zarówno w przypadku fizycznego braku dostępu do obiektu, jak i słabej zdolności skanowanej powierzchni do odbijania światła lasera. Jak wspomniano, problem ten występuje np. w odniesieniu do pomiaru drgań w trakcie procesu obróbki z doprowadzeniem cieczy chłodząco-smarującej. W zależności od analizowanego zagadnienia możemy mieć do czynienia z wibrometrami jednopunktowymi lub skanującymi, rejestrującymi prędkości drgań lub przemieszczenia. W odniesieniu do pomiarów drgań wibrometry skanujące (zarówno 2D, jak i 3D) okazują się wyjątkowo przydatne, ponieważ pozwalają rejestrować ruch całej skanowanej powierzchni (zdefiniowanej poprzez siatkę punktów pomiarowych), co umożliwi wizualizację drgań badanego obiektu, a tym samym lepsze zrozumienie zachodzących zjawisk. Na obecną chwilę oprogramowanie wibrometru Polytec PSV-400 pozwala na przeprowadzenie analizy drgań w dość ograniczonym zakresie, dostarczając jedynie kilka podstawowych narzędzi. Praca urządzenia możliwa jest w dwóch podstawowych trybach: rejestrowanie przebiegów czasowych prędkości drgań (Time) lub wyznaczanie widma częstotliwości drgań (FFT, FastScan) na podstawie zmierzonego sygnału – jednego lub kilku uśrednionych. Uśrednianie sygnałów możliwe jest w kilku trybach, np. widmo częstotliwości obliczane jest na podstawie średniej z zadanej liczby pomiarów (Averaged) lub wyznaczane są maksymalne wartości widma na podstawie zadanej liczby pomiarów (Peak hold). Pomiar za pomocą wibrometru laserowego jest możliwy po zaakceptowaniu kilku ograniczeń wynikających ze specyfiki prowadzenia pomiaru:

- pomiar oscylacji może być przeprowadzony w osi narzędzia lub w kierunku prostopadłym do osi (jedną głowicą możliwy jest pomiar w jednym kierunku),
- stosując wibrometr laserowy możliwy jest pomiar drgań na powierzchni czołowej narzędzia, jak i utworzenie profilu wzdłuż osi narzędzia,
- pomiar drgań osiowych możliwy jest przy zastosowaniu wibrometru 3D lub wibrometru 1D (jeśli wymiary głowicy lasera uniemożliwiają ustawienie jej w osi możliwy jest pomiar w poziomie i odbicie wiązki lasera za pomocą lustra ustawionego pod odpowiednim kątem),

- w trakcie pomiaru należy zadbać o dobrą jakość wiązki lasera wracającej (odbitej) do fotodetektora, np. zostawiając otwarte drzwi kabiny obrabiarki,
- precyzyjne wyznaczenie częstotliwości rezonansowych narzędzi zamocowanych w oprawce ze wzbudnikiem oscylacji ultradźwiękowych jest możliwe przez ograniczenie zakłóceń (np. zjawisk cieplnych zachodzących dla sonotrody),
- możliwy jest precyzyjny pomiar amplitudy oscylacji (przemieszczeń) przy zadaniu określonej wartości częstotliwości prądu i włączeniu generatora.

Jednym z ograniczeń przeprowadzenia pomiaru i analizy drgań na obrabiarce Ultrasonic jest także brak bezpośredniej możliwości synchronizacji generatora oscylacji z wibrometrem przez użytkownika. Z tego faktu wynika kolejne utrudnienie – sterowanie częstotliwością generatora z poziomu interfejsu układu Sinumerik możliwe jest tylko w sposób skokowy (co 1, 10, 100, 1000 Hz) w zakresie od 20 000 Hz do 30 499 Hz. Dodatkowo czasy trwania poszczególnych fragmentów sygnału zmierzone wibrometrem dla automatycznej, skokowej zmiany częstotliwości nie są jednakowe.

2.2. Konfiguracja obrabiarki i wibrometru

W celu wyznaczenia widma częstotliwości oscylacji narzędzia zamocowanego w oprawce ze wzbudnikiem oscylacji ultradźwiękowych (rys. 1), przeznaczonej dla hybrydowej obrabiarki CNC Ultrasonic 20 linear z układem Sinumerik 840D sl, zastosowano laserowy wibrometr skanujący Polytec PSV-400 w konfiguracji przedstawionej na rys. 2.

W celu pomiaru oscylacji w osi narzędzia i z uwagi na ograniczoną dostępność wiązka laserowa skierowana jest na lustro, następnie odbita w kierunku osi narzędzia obróbkowego, tak aby padała na jego powierzchnię czołową. Dzięki temu możliwy jest pomiar oscylacji w kierunku zgodnym z osią narzędzia. W nakładce interfejsu układu Sinumerik dokonuje się nastaw generatora ultradźwięków, uwzględniając moc, amplitudę oraz częstotliwość prądu generatora. Częstotliwość prądu generatora zainstalowanego dla obrabiarki Ultrasonic 20 linear może być zmieniana w zakresie od 20 000 Hz do 30 499 Hz. Wynika z tego konieczność znalezienia częstotliwości operacyjnej dla określonego narzędzia. Podczas obróbki (wykonywania programu sterującego w trybie pracy automatycznej) generator pracuje z ustaloną przez technologa wartością częstotliwości prądu. W czasie strojenia zestawu oprawka-narzędzie (przed obróbką) możliwa jest zmiana



Rys. 1. Oprawka z zamocowanym narzędziem

Fig. 1. Ultrasonic actor with the clamped tool



Rys. 2. Konfiguracja obrabiarki i wibrometru dla potrzeb badań
Fig. 2. Machine-vibrometer setup for investigations

częstotliwości prądu wyłącznie o 1, 10, 100 lub 1000 Hz. Częstotliwość może być zmieniana automatycznie lub ręcznie przez operatora, z zadaną wartością skoku. W czasie automatycznej, skokowej zmiany częstotliwości generator może pozostawać włączony około 20 s. Po tym czasie wyłącza się on samoczynnie. Wznowienie pracy generatora jest możliwe przez wciśnięcie odpowiedniego przycisku programowalnego znajdującego się na pulpicie operatora.

Kierunek wiązki lasera, po jej odbiciu od powierzchni lustra, należy ustawić poprzez zmianę położenia głowicy laserowej oraz lustro. Przykładowo, wiązka lasera ustawiona jest poziomo, lustro pod kątem 45°. Położenie lustro może być zmieniane w efekcie zmiany położenia maszynowych osi obrotowych A oraz C obrabiarki (stołu obrotowo-uchylnego).

3. Widmo częstotliwości i wyznaczenie parametrów ruchu oscylacyjnego

W celu przeprowadzania pomiarów parametrów ruchu oscylacyjnego opracowano cztery procedury wyznaczenia widma częstotliwości oscylacji. Różnią się one sposobem zmiany częstotliwości prądu generatora. Procedura 1 polega na automatycznej (skokowej) zmianie częstotliwości prądu generatora z największym możliwym skokiem, zawężaniu analizowanego pasma częstotliwości i ponownym skanowaniu z mniejszym skokiem. W Procedurze 2 częstotliwość zmieniana jest ręcznie przez operatora w całym zakresie częstotliwości operacyjnych. Procedura 3 zakłada ręczną i automatyczną zmianę częstotliwości. Procedura 4, podobnie jak Procedura 1 polega na automatycznej (skokowej) zmianie częstotliwości. Pomiar odbywa się jednak z mniejszym od maksymalnego skokiem (tzn. 1, 10 lub 100 Hz) oraz dodatkowo przesuwany jest punkt startu skanowania określający częstotliwość operacyjną, od której rozpoczyna się skanowanie.

Procedura 1

1. Skokowa, automatyczna zmiana częstotliwości co 1000 Hz w zakresie granicznych częstotliwości operacyjnych (dla obrabiarki Ultrasonic między 20 000 Hz i 30 499 Hz) w czasie około 8 s, który zapewnia zmianę częstotliwości w całym zakresie.
2. Zawężanie pasma częstotliwości wokół największej amplitudy widma odczytanej z oprogramowania wibrometru i pomiar ze skokiem 100 Hz (np. od 24 000 Hz); w czasie bliskim 16 s można zeskanować pasmo około 3000 Hz.
3. Jeśli istnieje potrzeba bardziej precyzyjnej analizy, można dalej zawężać pasmo i przeprowadzać pomiar ze skokiem 10 Hz; w czasie 16 s pomiaru można zeskanować pasmo około 300 Hz.
4. Wybór częstotliwości, dla której uzyskuje się wymaganą amplitudę mocy widma (np. maksymalne przemieszczenie) i pomiar przemieszczeń dla zadanej częstotliwości.

Procedura 2

Dokonuje się pomiaru amplitudy po ręcznym wybraniu określonej częstotliwości prądu generatora w całym zakresie częstotliwości operacyjnych. Zmianę częstotliwości na przykład o 100 Hz w całym paśmie częstotliwości (od 20 000 Hz do 30 000 Hz) realizuje się poprzez wybór konkretnej wartości częstotliwości i włączenie generatora ultradźwięków przez operatora.

Procedura 3

1. Skokowa, automatyczna zmiana częstotliwości co 1000 Hz w zakresie granicznych częstotliwości operacyjnych (między 20 000 Hz i 30 499 Hz) w czasie około 8 s.
2. Zawężanie pasma częstotliwości wokół największej amplitudy widma i pomiar ze skokiem 100 Hz (np. od 24 000 Hz), w czasie 16 s pomiaru można zeskanować pasmo około 3000 Hz.
3. Dalsze zawężanie pasma i pomiar amplitudy ze skokiem 1 Hz lub 10 Hz po ręcznej zmianie częstotliwości prądu generatora w całym zakresie zawężonego pasma.

Procedura 4

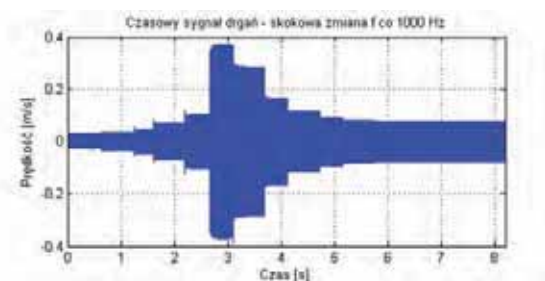
1. Ustawienie częstotliwości początku pierwszego skanowania (np. 20 000 Hz).
2. Skokowa, automatyczna zmiana częstotliwości o 1, 10, lub 100 Hz od częstotliwości ustawionej zgodnie z wytycznymi w pkt. 1.
3. Ustawienie częstotliwości kolejnego skanowania (częstotliwość końca pierwszego skanowania lub częstotliwość znajdująca się „wewnątrz” poprzednio skanowanego zakresu częstotliwości operacyjnych, np. 22 500 Hz).
4. Powtarzanie pkt. 3 do czasu przeskanowania całego zakresu częstotliwości operacyjnych. Należy dodać, że skokowa lub ręczna zmiana częstotliwości może odbywać się „na + ” lub „na - ”, tzn. podczas zmiany częstotliwości jej wartości mogą rosnąć lub maleć. Należy również zaznaczyć, że za pomocą oprogramowa-

nia wibrometru nie jest możliwe bezpośrednie wyznaczenie rzeczywistej amplitudy drgań jeśli wymuszenie nie jest harmoniczne. Bezpośredni odczyt amplitudy drgań możliwy jest wyłącznie dla wymuszenia o stałej częstotliwości (np. 25 000 Hz).

3.1. Analiza oscylacji narzędzia przy skokowej zmianie częstotliwości

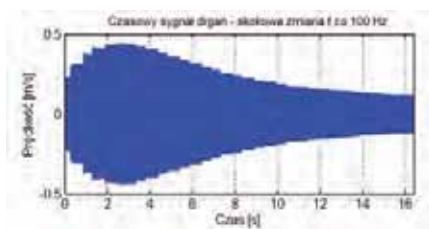
3.1.1. Analiza wyników uzyskanych w oprogramowaniu wibrometru laserowego

Przykładowe sygnały czasowe zarejestrowane podczas pomiaru drgań powierzchni czołowej diamentowej ściernicy trzpieniowej o średnicy zewnętrznej 6 mm z otworem drążonym przedstawione zostały na rys. 3, 4 i 5. Sygnały zostały zarejestrowane dla trzech różnych wartości skoku częstotliwości (1000, 100, 10 Hz). Na podstawie sygnałów czasowych w oprogramowaniu wibrometru tworzone są widma częstotliwości sygnału. Na rys. 6 przedstawiono widma częstotliwości dla skanowania podczas automatycznej zmiany częstotliwości zgodnie z Procedurą 1. Zauważyć tam można występowanie pików, których wysokość jest mniejsza od wysokości pików sąsiednich. Przyczyną tego jest wspomniany, zmienny czas przełączania się generatora podczas skokowej zmiany częstotliwości prądu, co ma wpływ na odebraną przez wibrometr energię sygnału. Częstotliwość rezonansowa może być wyznaczona przez uwzględnienie trendu zmiany wartości FFT oraz odrzuce-



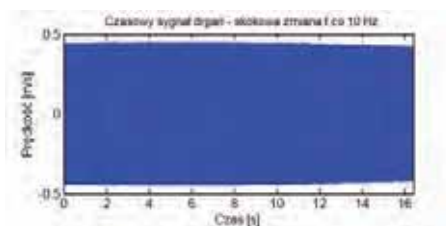
Rys. 3. Sygnał czasowy zarejestrowany przy skokowej (1000 Hz) zmianie częstotliwości oscylacji f w zakresie od 20 000 Hz do 30 499 Hz

Fig. 3. Time signal measured for discrete changes of the oscillation frequency (1000 Hz) f from 20 000 Hz to 30 499 Hz



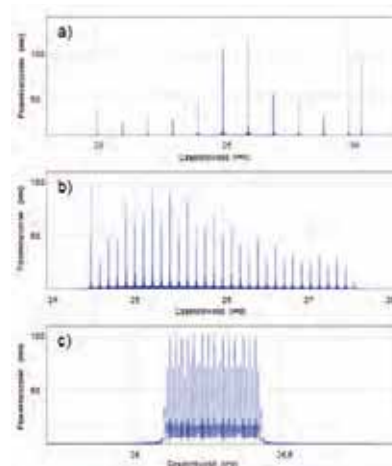
Rys. 4 Czasowy sygnał zarejestrowany przy skokowej (100 Hz) zmianie częstotliwości oscylacji

Fig. 4. Time signal measured for discrete changes of the oscillation frequency (100 Hz)



Rys. 5. Czasowy sygnał zarejestrowany przy skokowej (10 Hz) zmianie częstotliwości oscylacji

Fig. 5. Time signal measured for discrete changes of the oscillation frequency (10 Hz)



Rys. 6. Widma częstotliwości sygnałów z rys. 3, 4 i 5. Skanowanie ze skokową zmianą częstotliwości prądu generatora: a) 1000 Hz, b) 100 Hz, c) 10 Hz

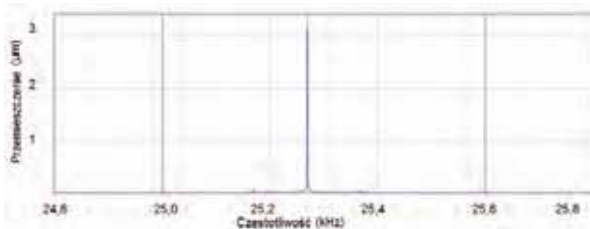
Fig. 6. Frequency spectrums of time signals presented in fig. 1, 2 and 3. Scans with the discrete change of hf-generator current: a) 1000 Hz, b) 100 Hz, c) 10 Hz

nie pików granicznych (początek i koniec skanowania), dla których czas sygnału dla jednej częstotliwości operacyjnej był wyraźnie dłuższy (np. dalsza rejestracja sygnału po osiągnięciu wartości granicznej częstotliwości 30 499 Hz). Na podstawie analizy widma częstotliwości, dla wybranej częstotliwości operacyjnej może być dokonany pomiar amplitudy oscylacji ultradźwiękowych narzędzia (rys. 7), która dla przedstawionego przykładu wynosiła około 3 μm . Podczas pomiaru amplitudy zauważono, że na jej wartość wpływa jakość sygnału czasowego, którego kontrola jest niezbędna do otrzymania powtarzalnych wyników pomiaru.

3.1.2. Analiza sygnałów pomiarowych w programie MATLAB

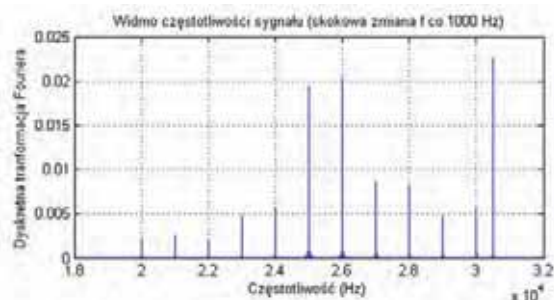
Podobne wyniki w odniesieniu do widma częstotliwości można uzyskać na podstawie analizy sygnału czasowego przeprowadzanej na przykład w programie MATLAB (rys. 8).

Można także utworzyć widmo częstotliwości dla przebiegu czasowego na podstawie okien o stałej podstawie czasu (rys. 9, 10). Widmo to składa się z pików, których wysokość różnie od częstotliwości prądu generatora, dla której rozpoczęto skanowanie do częstotliwości rezonanso-



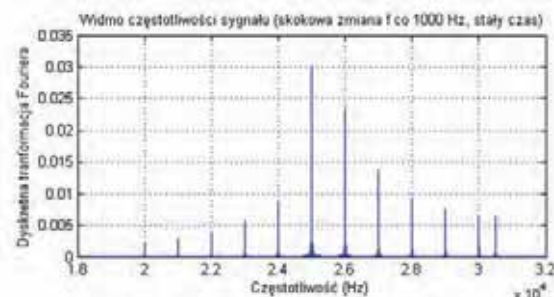
Rys. 7. Widmo amplitudy przemieszczeń dla zadanej częstotliwości operacyjnej prądu generatora

Fig. 7. Frequency spectrum for selected current frequency of hf-generator



Rys. 8. Widmo częstotliwości sygnału przy skokowej zmianie częstotliwości oscylacji (1000 Hz)

Fig. 8. Frequency spectrum of the signal measured for discrete changes of the oscillation frequency (1000 Hz)

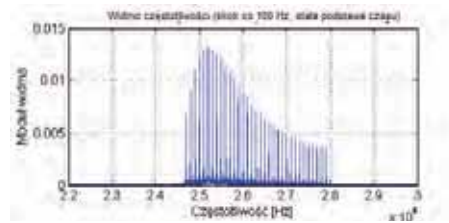


Rys. 9. Widmo częstotliwości sygnału przy skokowej zmianie częstotliwości oscylacji (1000 Hz) i stałej podstawie czasu

Fig. 9. Frequency spectrum of the signal measured for discrete changes of the oscillation frequency (1000 Hz) and a constant time base

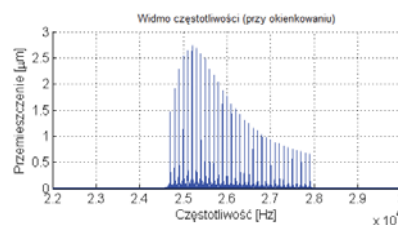
wej, a następnie wysokość pików ma coraz mniejszą wartość, aż do częstotliwości, dla której zakończono skanowanie. W ten sposób wyeliminować można efekt zmiennego czasu przełączania przy skokowym generowaniu częstotliwości.

Dla sygnałów czasowych o stałej podstawie czasu utworzone mogą być widma częstotliwości w odniesieniu do wyznaczonych amplitud przemieszczenia. Z tak przetworzonych danych pomiarowych można wprost odczytać amplitudy przemieszczeń. Przykład takiego widma pokazano na rys. 11. Widmo zostało utworzone dla skanowania co 100 Hz (por. rys. 10).



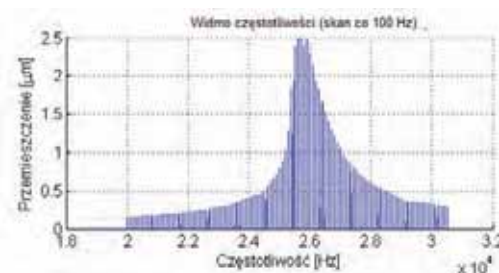
Rys. 10. Widmo częstotliwości sygnału przy skokowej zmianie częstotliwości oscylacji (100 Hz)

Fig. 10. Frequency spectrum of the signal measured for discrete changes of the oscillation frequency (100 Hz)



Rys. 11. Widmo częstotliwości sygnału w odniesieniu do wyznaczonych amplitud przemieszczenia

Fig. 11. Frequency spectrum of the signal with regard to computed displacement amplitudes



Rys. 12. Przemieszczenia uzyskane podczas pomiaru zgodnie z Procedurą 2 (ręczna zmiana częstotliwości prądu generatora o 100 Hz).

Fig. 12. Displacements measured according to Procedure 2 (manual change (100 Hz) of high-frequency generator current)

3.3. Pomiar amplitudy przemieszczeń w zadanym paśmie częstotliwości

W celach poznawczych oraz z uwagi na lepszą jakość odbitej wiązki lasera pomiar amplitudy odbywał się zgodnie z Procedurą 2 (co 100 Hz od 20 000 Hz do 30 499 Hz). Dla każdej ustawionej częstotliwości włączano generator i dokonywano pomiaru w celu wyznaczenia amplitudy oscylacji. Uzyskane wyniki przedstawiono na rys. 12.

Procedura 3 prowadzi do wyznaczania widm podobnie jak w Procedurze 1, dodatkowo uzyskiwane są widma dla konkretnych częstotliwości operacyjnych analogicznie do Procedury 2. Procedura 4 prowadzi do wyznaczania widm takich jak uzyskiwane w Procedurze 1 (por. rys. 10).

Podsumowując, na podstawie pomiarów mogą być mierzone przemieszczenia i określana wymagana do obróbki częstotliwość prądu generatora.

4. Wnioski

Pomiary wibrometrem laserowym uwidoczniły jego przydatność dla badań hybrydowych procesów obróbkowych ze wspomaganiami ultradźwiękowym. Znaczący wpływ na wyniki pomiaru ma właściwa konfiguracja wibrometru. W szczególności istotne jest uzyskanie dobrej jakości sygnału obrazującego zmiany prędkości w czasie. Zaobserwowano również wpływ temperatury układu sonotroda-narzędzie na zmiany prędkości ruchu oscylacyjnego, co ma wpływ na wyznaczane spektrum częstotliwości. Korzystne warunki pomiaru występują jeśli zmiany temperatury są nieznaczne lub nie występują. Wyznaczanie spektrum częstotliwości w oprogramowaniu wibrometru na podstawie sygnału czasowego charakteryzuje się dobrą powtarzalnością pomiarów, dla jednakowych warunków pomiaru. Główną wadą tej metody jest konieczność szczegółowego skanowania w wielu zakresach częstotliwości z małym skokiem częstotliwości w obszarze wielu obserwowanych pików obrazujących przemieszczenie. Tylko wtedy można precyzyjnie wyznaczyć częstotliwość rezonansową. Analiza sygnałów czasowych w programie MATLAB, dzięki wyodrębnieniu identycznych okien czasowych, prowadzi do wyeliminowania efektu różnego czasu generowania sygnałów przy skokowej zmianie częstotliwości. Wyznaczanie amplitudy dla częstotliwości w zakresie od 20 000 Hz do 30 499 Hz przez skanowanie w określonych częstotliwościach operacyjnych co 100 Hz charakteryzuje się dużą czasochłonnością, jednak może doprowadzić do precyzyjnego określenia amplitudy dla poszczególnych wartości częstotliwości oraz może doprowadzić do ustalenia największej wartości amplitudy i odpowiadającej jej częstotliwości (zwłaszcza jeśli nie planuje się przetwarzania sygnałów czasowych na przykład w środowisku obliczeniowym MATLAB). Możliwym rozwiązaniem byłoby sprzężenie generatora ultradźwięków z wibrometrem laserowym w celu wymuszania zadanych częstotliwości prądu i jednoczesnego pomiaru amplitudy, co wymaga ingerencji w generator.

Do badań wykorzystano aparaturę zakupioną w projekcie nr POPW.01.03.00-18-012/09 z Funduszy Strukturalnych w ramach Programu Operacyjnego Rozwój Polski Wschodniej współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Bibliografia

1. Brehl D.E., Dow T.A., *Review of vibration-assisted machining*, "Precision Engineering" 32/2008, 153-172.
2. Cong W.L., Pei Z.J., Mohanty N., Van Vleet E., Treadwell C., *Vibration Amplitude in Rotary Ultrasonic Machining: A Novel Measurement Method and Effects of Process Variables*, "Journal of Manufacturing Science and Engineering", June 2011, Vol. 133.

3. Marinescu I.D., Hitchiner M., Uhlmann E., Rowe W.B., Inasaki I.: *Handbook of Machining with Grinding Wheels*, CRC Press, Taylor and Francis Group, 2007.
4. Nau B., Roderburg A., Klocke F., *Ramp-up of hybrid manufacturing technologies*, "CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology" 4/2011, 313-316.
5. Nazarko P., *Ocena stanu konstrukcji. Detekcja uszkodzeń z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej 2010.
6. Ultrasonic Assisted Grinding of brittle hard materials, final technical report, CORNET project, Austria, April 2010. ■

Methodology of measuring ultrasonic oscillations of tools using LDV

Abstract: The methodology of ultrasonic oscillation spectrum determination for tools applied in hybrid machining processes is presented. The laser scanning vibrometer is applied in order to determine frequency spectrum.

Keywords: ultrasonic assisted machining, machining, laser vibrometer, frequency spectrum

Artykuł recenzowany, nadesłany 30.05.2013, przyjęty do druku 09.09.2013.

dr hab. inż. Janusz Porzycki, prof. PRz

Profesor nadzwyczajny na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Specjalizuje się w zagadnieniach budowy i eksploatacji maszyn.

e-mail: jpor@prz.edu.pl



dr inż. Piotr Nazarko

Adiunkt na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej. Zajmuje się nieniszczącymi technikami wykrywania i oceny uszkodzeń oraz zastosowaniem metod sztucznej inteligencji.

e-mail: pnazarko@prz.edu.pl



mgr inż. Roman Wdowik

Asystent na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Zajmuje się hybrydowymi procesami obróbki ubytkowej oraz zagadnieniami eksploatacji maszyn CNC.

e-mail: [e-mail: rwdowik@prz.edu.pl](mailto:rwowik@prz.edu.pl)

