

# Pomiary drgań podczas procesu cięcia strugą wodno-ścierną pod kątem oceny jakości powierzchni

## The vibration measurements during the abrasive waterjet cutting for the evaluation of surface quality

TOMASZ WALA  
KRZYSZTOF LIS\*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.259

W artykule podjęto dyskusję na temat wpływu drgań występujących podczas procesu cięcia wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną na chropowatość powierzchni przecinanego przedmiotu. O jakości obrabianej powierzchni decydują głównie czynniki wynikające z ustawień samych parametrów procesu cięcia. Przedstawione badania eksperymentalne wskazują jednak, że nie bez znaczenia są również parametry drgań towarzyszących obróbce.

**SŁOWA KLUCZOWE:** obróbka wodno-ścierna, drgania, chropowatość powierzchni

*Article undertakes discussion about the impact of vibrations occurring during the abrasive waterjet machining on the surface roughness of the workpiece. The quality of the machined surface depends mainly on factors arising from the cutting process parameters, however, the presented experimental studies also show that the size of the frequency of oscillation also directly affect on the roughness machined surface.*

**KEYWORDS:** abrasive waterjet machining, vibration, surface roughness

Eliminacja niepożądanych efektów cięcia oraz ewentualna weryfikacja metody badań w celu poprawy parametrów cięcia metodą strugi wodno-ściernej to nadrzędny cel niniejszej pracy badawczej. Początki stosowania techniki kształtowania przedmiotu wysokociśnieniową strugą tnącą sięgają lat 80. ub.w. Po dziś dzień ta technika jest jednak rozwijana i udoskonalana – zarówno pod kątem jakości kształtowania przedmiotu, jak i innowacyjnych rozwiązań konstrukcji elementów maszyn.

W części badawczej artykułu przedstawiono metodykę określania stanu maszyny na podstawie drgań zarejestrowanych podczas procesu oraz ocenę ich wpływu na dokładność obróbki. Aktualny stan maszyny można określać na podstawie obserwacji jej działania jako obiektu diagnostycznego, a więc na podstawie obserwacji: wyjścia głównego przekształcanej energii, otrzymanych produktów, wyjść dyssypacyjnych. W ostatnim przypadku działanie polega na kontroli procesów reszkowych, które mogą być związane z temperaturą, drganiami, akustyką itp. [1]. Obecnie maszyny do obróbki wodno-ściernej poddaje się licznym badaniom dotyczącym wpływu parametrów procesu na postać drgań [2–4]. W tych badaniach podejmuje się próby skorelowania widma drgań z otrzymywanym profilem chropowatości obrabianej powierzchni. Taka korelacja może być podstawą do stworzenia i realizacji programu zarządzającego procesem cięcia z wykorzystaniem informacji zwrotnych – danych z pomiarów [2, 4]. Charakterystyczne prążkowanie obserwowane na powierzchni podczas

cięcia strugą wodno-ścierną jest powodowane zmieniającą się energią kinetyczną cząstek ściernych. Autorzy badań [7] stwierdzili, że wzrost obserwowanych na powierzchni cięcia pofalowań wzdłuż głębokości penetracji strumienia wynika również ze zmiany energii kinetycznej cząstek ściernych, która od momentu wyjścia z głowicy gwałtownie się zmniejsza. Energia kinetyczna cząstek częściowo wyznacza masę statyczną w osi strugi tnącej. Oscylacje masy strugi mogą być rejestrowane poprzez obserwację dźwięku w szerokim paśmie częstotliwości [2, 8, 9]. Takie podejście pozwala również na wykorzystanie informacji zwrotnej do uzyskania określonej reakcji maszyny w odniesieniu do parametrów, aby poprawić jakość obróbki.

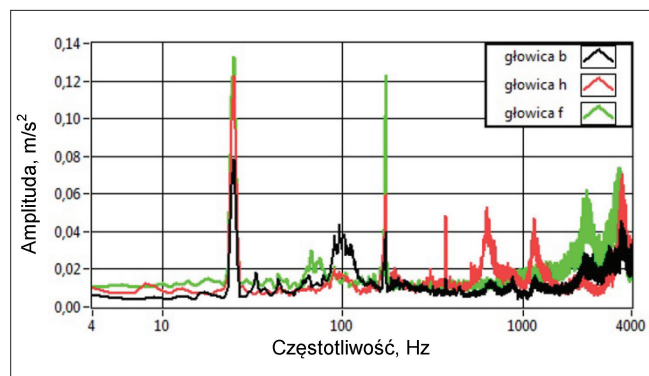
Przedstawione dalej wyniki badań, polegających na analizie drgań w odniesieniu do otrzymywanej chropowatości powierzchni po cięciu, mają pokazać ścisły związek wibracji z profilem powierzchni po cięciu. W ramach tych badań zarejestrowano kilkadziesiąt przebiegów drgań głowicy tnącej oraz stołu. Cięciu poddawano próbki ze stali węglowej S235RJ oraz ze stopu aluminium EN AW-7075 o grubości 12 mm i 20 mm. Stosowano następujące parametry obróbki: ciśnienie pompy 330 MPa, natężenie przepływu ścierniwa 340 g/min. W konstrukcji głowicy zastosowano dyszę wodną o średnicy otworu  $\varnothing 0,35$  mm i dyszę ogniskującą o średnicy otworu  $\varnothing 1$  mm. Podczas prób cięcia zmieniano prędkość posuwową.

### Analiza drgań występujących podczas cięcia strugą wodno-ścierną

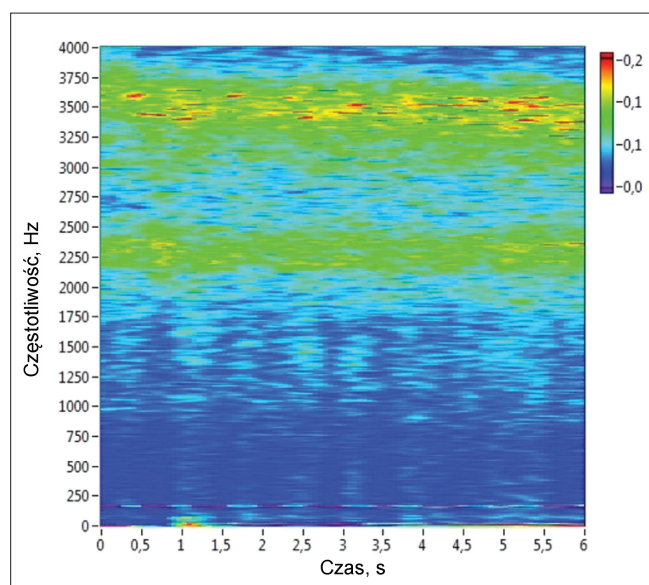
Dane zarejestrowane w trakcie badań, pochodzące z pomiarów drgań, można analizować pod różnym kątem. Analiza w dziedzinie częstotliwości ma znaczenie z punktu widzenia identyfikacji przyczyn powstawania drgań w konkretnych obszarach spektrum. Celem niniejszych badań było jednak określenie skutków tych drgań i ich odzwierciedlenie w parametrach opisujących jakość cięcia. Realizacja transformaty Fouriera zarejestrowanego sygnału, gdy dysponuje się wystarczającą liczbą próbek, wymaga przyjęcia założenia stacjonarności sygnału, o co w procesie cięcia metodą wodno-ścierną jest trudno. Do oceny sygnałów niestacjonarnych lepiej jest zastosować transformatę Gabora. Za jej pomocą określono dodatkowo, przy jakich częstotliwościach występowały zwiększone amplitudy drgań oraz jak rozkładały się one w czasie podczas cięcia próbek. Na rys. 1 przedstawiono przykład widma po transformacji Fouriera dla wybranych przebiegów drgań głowicy tnącej. Kolory określają kierunek pomiaru drgań, a symbole:  $b$  – pomiar drgań w kierunku prostopadłym do powierzchni przecięcia (kierunku posuwu głowicy tnącej),  $h$  – pomiar drgań w kierunku osi strugi tnącej i prostopadłej do powierzchni przedmiotu,  $f$  – pomiar drgań w kierunku posuwu głowicy tnącej.

\* Dr inż. Tomasz Wala (tomasz.wala@polsl.pl), dr inż. Krzysztof Lis (krzysztof.lis@polsl.pl) – Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Budowy Maszyn

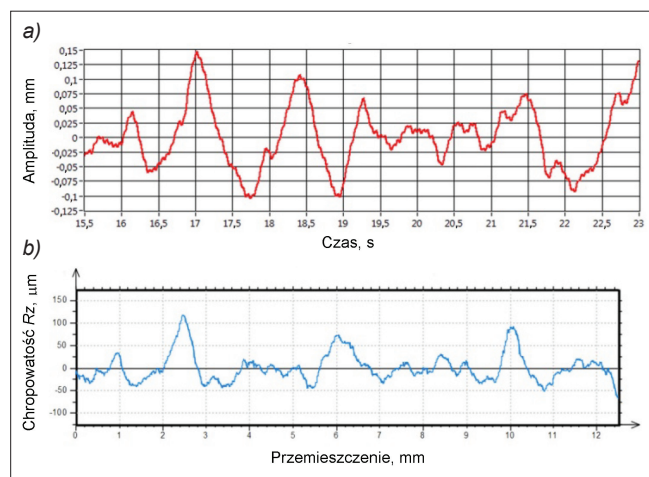
Spektrogramy uzyskane na podstawie przeprowadzonej transformaty Gabora przedstawiają zwiększone amplitudy drgań w dziedzinie czasu w różnych częstotliwościach. Bazują na palecie barw przypisanej do jednostek –  $\text{m/s}^2$ . Na rys. 2 pokazano spektrogram amplitudy przyspieszeń dla głowicy tnącej w kierunku  $f$ .



Rys. 1. Wartości amplitud przyspieszeń w dziedzinie częstotliwości dla głowicy tnącej (posuw: 137 mm/min, materiał: EN AW-7075, grubość: 20 mm)



Rys. 2. Transformata Gabora dla pomiaru nr 1 w kierunku  $f$



Rys. 3. Zestawienie amplitudy przemieszczeń (a) i chropowości Rz (b) głowicy tnącej (posuw: 96 mm/min, materiał: stal S235JR, grubość: 20 mm)

## Zestawienie wartości drgań z profilem chropowatości powierzchni Rz

W celu wykazania bezpośredniego związku między drganiami a chropowatością zestawiono razem dane pomiarowe opracowane w trakcie analizy (rys. 3).

Dla każdej próbki i wybranego posuwu porównano przemieszczenia głowicy tnącej w formie przebiegów i zestawiono je z profilem chropowatości. Przedstawione na rys. 3 zestawienie dotyczy chropowatości powierzchni cięcia zmierzonej za pomocą profilografometru Tylor Sutronic 3+ w dolnej części strefy cięcia. Wyznaczone w ten sposób zmiany wysokości chropowatości Rz najbardziej odpowiadały chwilowym zmianom wartości amplitudy przemieszczeń w danym punkcie. Na podstawie zestawienia można stwierdzić, że nie wszystkie przemieszczenia dyszy mają swoje odzwierciedlenie w zakresie chropowatości w rozpatrywanym przekroju.

## Podsumowanie badań

Przeprowadzone badania drgań głowicy tnącej oraz stołu jednoznacznie potwierdzają wyniki wcześniejszych badań poświęconych tej tematyce [5, 6]. Podczas każdej próby występowały drgania o różnych częstotliwościach. Przykładowo, drgania o częstotliwości 100 Hz odpowiadają pierwszej częstotliwości drgań własnych głowicy tnącej. Drgania o częstotliwości ok. 200 Hz pochodzą z pompy wysokociśnieniowej [6]. Częstotliwości na poziomie 1150 Hz oraz 3430 Hz odpowiadają częstotliwościom drgań własnych próbek oraz mocowania. Zwiększone amplitudy widoczne są na każdym wykresie, przy czym raz są bardziej zauważalne na wykresach drgań głowicy tnącej, a innym razem – na wykresach drgań stołu. Na głowicy tnącej występują zwiększone amplitudy drgań przy częstotliwości 376 Hz i 630 Hz, które prawdopodobnie odpowiadają kolejnym częstotliwościom drgań własnych głowicy. Analiza zarejestrowanych drgań przedmiotu oraz głowicy tnącej pod kątem amplitudy przemieszczeń wykazała istotny wpływ drgań na jakość obrabianej powierzchni. Podczas badań identyfikowano amplitudy w chwilach odpowiadających zmianom wysokości wyznaczonego profilu chropowatości.

## LITERATURA

1. Żółtowski B. „Podstawy diagnostyki maszyn”. Bydgoszcz, 1996.
2. Hloch S., Perzel V., Hreha P., Tozan H., Valicek J. „Vibration as a source of information for abrasive waterjet monitoring”. *Journal of Naval Science and Engineering*. Vol. 7, No. 1 (2011): pp. 71+85.
3. Monno M., Ravasio C. „The effect of cutting head vibrations on the surfaces generated by waterjet cutting”. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 45, Iss. 3, (2005): pp. 355+363.
4. Hreha P., Radvanska A., Hloch S., Perzel V., Królczyk G., Monkova K. „Determination of vibration frequency depending on abrasive mass flow rate during abrasive water jet cutting”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 77 (2015): pp. 763+774.
5. Wala T., Lis K. „Badanie oddziaływań siłowych podczas cięcia wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną”. *Mechanik*. Nr 9 (2015).
6. Wala T., Lis K. „Analiza wpływu procesu obróbki wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną na drgania maszyny”. *Inżynieria Maszyn*. R. 19, z. 1 (2014).
7. Chen, F.L., Siores E. „The effect of cutting jet variation on striation formation in abrasive water jet cutting”. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 41 (2001): pp. 1479+1486.
8. Momber A.W., Mohan R.S., Kovacic R. „On-line analysis of hydro-abrasive erosion of pre-cracked materials by acoustic emission”. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 31 (1999): pp. 1+17.
9. Valiček J., Hloch S. „Using the acoustic sound pressure level for quality prediction of surfaces created by abrasive waterjet”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 48, Iss. 1 (2010): pp. 193+203.