

# Budowa i analiza systemu nanodosuwu z wykorzystaniem komputerowych technik diagnostycznych

## Construction and analysis of a nano infeed system using the computer-based diagnostic techniques

WOJCIECH MUSIAŁ  
MARTA KORDOWSKA  
MARIOLA ROGOWSKA\*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.5-6.98

Artykuł z XIII Forum Inżynierskiego ProCAx 2015

Zaprezentowano stan realizacji projektu budowy systemu nanodosuwu przeznaczonego do precyzyjnego pozycjonowania w obszarze roboczym dla ultraprecyzyjnej obróbki materiałów trudnoskrawalnych. Przedstawiono konstrukcję urządzenia umożliwiającego identyfikację kontaktu powierzchni czynnej elastycznego narzędzia ściernego z przedmiotem obrabianym. **SŁOWA KLUCZOWE:** nanoostróżka, diagnostyka, monitorowanie, systemy CAx

*Presented is progress of work on the project of construction of the nano-approach system designed for precise tool positioning within the working area for ultra-precision treatment of the hard to machine materials. The paper also shows the arrangement providing for identification of the active elastic abrasive tool contact surface with the workpiece.*

**KEYWORDS:** nanoprocesing, diagnostics, monitoring, CAx systems

Zaprezentowano system precyzyjnego dosuwu stosowany w ultradokładnej obróbce powierzchni wykonanych z materiałów trudnoskrawalnych, w tym ceramicznych oraz ze stopów na bazie Inconelu i tytanu [1, 2]. Do najważniejszych elementów tego systemu należą stopy piezoelektryczne wraz z instalacją zasilania i sterowania.

Budowę ultraprecyzyjnych systemów pozycjonujących umożliwiają specjalistyczne układy generujące dosuw z nanometryczną dokładnością. Siłowniki piezoelektryczne (rys. 1) są składane w kaskady, by uzyskać odpowiednio zaprojektowaną charakterystykę wydłużenia tych siłowników [3]. Obecnie stosowane siłowniki piezoelektryczne są wyposażane w precyzyjne systemy sterowania, pozwalające na kompensację w pętli sprzężenia zwrotnego błędów wydłużenia.



Rys. 1. Typy siłowników piezoelektrycznych [4]

\* Dr inż. Wojciech Musiał (wojciech.musial@tu.koszalin.pl.) – Wydział Mechaniczny Politechniki Koszalińskiej; mgr inż. Marta Kordowska (marteczka.kordowska@vp.pl), mgr inż. Mariola Rogowska (mariola.choromanska@tu.koszalin.pl) – Wydział Mechaniczny Politechniki Koszalińskiej/Bumar Koszalin

Precyzyjne pozycjonowanie w strefie obróbki z zastosowaniem specjalistycznych systemów dosuwu opartych na odwrotnym zjawisku piezoelektrycznym jest możliwe również dlatego, że coraz częściej stosuje się ultraprecyzyjne systemy diagnostyczne. Wykonuje się nimi pomiary z dokładnością do nanometrów, np. z wykorzystaniem interferometru laserowego (rys. 2).



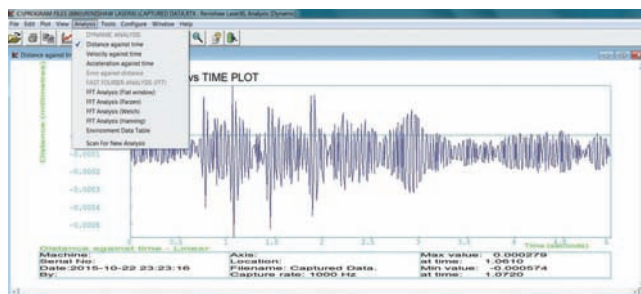
Rys. 2. Interferometr laserowy umożliwiający ultraprecyzyjny pomiar błędów pozycjonowania z rozdzielczością rzędu nanometrów [5]

Interferometr laserowy służy do precyzyjnego mierzenia rzeczywistego przemieszczenia systemu precyzyjnego dosuwu dla wybranych osi wrażliwych związanych z realizacją procesu obróbkowego.

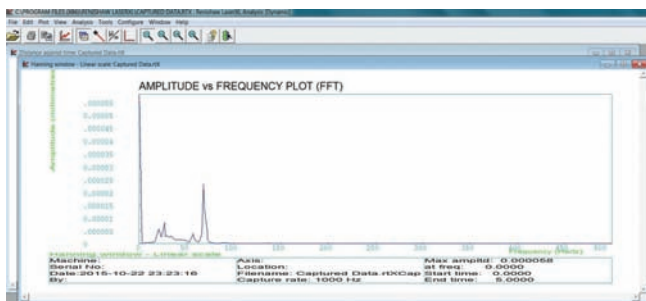
Do budowy systemu precyzyjnego dosuwu planuje się również wykorzystać systemy diagnostyczne pozwalające na monitorowanie i diagnozowanie procesu obróbkowego w celu jego kontrolowania w sposób aktywny, w sprzężeniu zwrotnym z informacjami pochodzącymi ze strefy obróbki od czujników EA i składowych siły [2].

Kluczowe znaczenie dla prawidłowej realizacji ultraprecyzyjnych procesów obróbkowych mają: pomiar przemieszczenia oparty na laserowej analizie zmian długości stosu piezoelektrycznego oraz analiza zakłóceń w strefie obróbkowej, takich jak drgania (również z opcją pomiaru przyspieszeń).

Drgania asynchroniczne występują w napędach wirujących z dużymi prędkościami obrotowymi. Mimo to dąży się do intensyfikowania parametrów obróbkowych, aby



Rys. 3. Pomiar drgań dla układu obróbkowego w dziedzinie amplitudowej



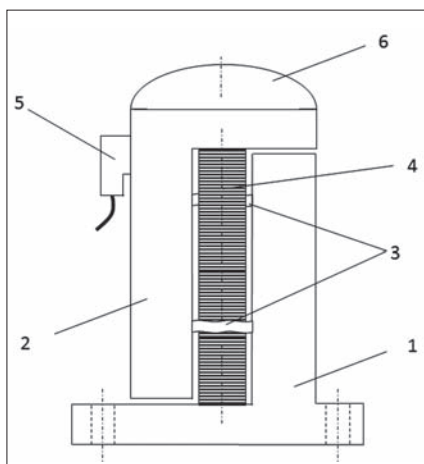
Rys. 4. Pomiar drgań dla układu obróbkowego w dziedzinie częstotliwościowej

zredukować koszty wytwarzania. Zwiększanie prędkości obrotowej i posuwu powoduje wzrost zakłóceń w strefie obróbki i konieczność ich pomiaru (rys. 3 i 4).

Przedstawione elementy systemu precyzyjnego dosuwu umożliwiają wzorcowanie i kalibrację układów sterowania CNC oraz budowę innowacyjnych, specjalistycznych systemów zwiększających dokładność procesów obróbki.

### Przykład realizacji systemu pozycjonowania

Na rys. 5 zaprezentowano schemat urządzenia spełniającego wymagania systemu precyzyjnego dosuwu wyposażonego w systemy diagnostyczne służące do monitorowania i diagnozowania kontaktu elastycznego narzędzia ściernego z przedmiotem obrabianym (nakładką identyfikującą powierzchnię czynną narzędzia ściernego).



Rys. 5. Urządzenie do precyzyjnego pomiaru narzędzi elastycznych. Zasada działania urządzenia jest oparta na odwrotnym zjawisku piezoelektrycznym. 1 – belka stanowiąca element nośny urządzenia, 2 – belka wewnętrzna – popychacz, 3 – elementy sprężyste, 4 – stos piezoelektryczny, 5 – czujnik EA, 6 – wymienna głowica pomiarowa

Do stołu obrabiarki przymocowana jest belka stanowiąca element nośny urządzenia (1). Do niej przymocowana jest na elementach sprężystych (3) wewnętrzna belka (2) spełniająca rolę popychacza podpierającego z jednej strony wymienną głowicę pomiarową (6), zintegrowaną z czujnikiem EA (5). Od wewnętrznej strony belka (2) podparta jest stosem piezoelektrycznym (4), zamocowanym do belki nośnej (1), którego zadaniem jest przemieszczanie belki wewnętrznej (2) względem belki nośnej (1).

Sposób działania systemu precyzyjnego dosuwu (jako urządzenia) polega na jednoosiowym ruchu dosuwowym głowicy pomiarowej składającej się z powierzchni roboczej, umożliwiającej realizację kontaktu głowicy z narzędziem ściernym, oraz sprzężonego z głowicą czujnika EA (emisji akustycznej). Ruch ten jest wywołany przez siłownik piezoelektryczny wykonujący ruch dosuwowy w kierunku wirującej powierzchni czynnej narzędzia ściernego (dosuw może się odbywać wzdłużnie lub poprzecznie do powierzchni stołu roboczego). Stos piezoelektryczny o wydłużeniu od kilkudziesięciu do kilku-

set mikrometrów realizuje precyzyjny ruch posuwisty z rozdzielczością rzędu nanometrów, penetrując przestrzeń między wierzchołkami ziaren ściernych (narzędzia ściernego) a powierzchnią pomiarową identyfikującą kontakt głowicy z powierzchnią czynną ściernicy, połączoną z precyzyjnym czujnikiem EA. Po zbliżeniu powierzchni pomiarowej głowicy do powierzchni czynnej narzędzia ściernego i uzyskaniu kontaktu najbardziej wysuniętych jego ziaren z powierzchnią głowicy następuje wzbudzenie sygnału EA jako fali sprężystej, która przemieszcza się w materiale stanowiącym powierzchnię roboczą identyfikującą głowicy. Na podstawie charakterystyki stosu piezoelektrycznego (napięcia/wydłużenia) lub odczytu (z wykorzystaniem interferometru laserowego) można określić wartość jego wydłużenia oraz intensywność kontaktu ziaren ściernych w funkcji ugięcia elastycznego narzędzia ściernego.

### Podsumowanie

Zaprezentowany system dosuwu może być konfigurowany jako inteligentna głowica obróbkowa pracująca w układzie horyzontalnym lub wertykalnym. Jednocześnie może pełnić funkcję identyfikatora położenia elastycznego narzędzia ściernego względem przedmiotu obrabianego, a także służyć do pomiarów ugięcia elastycznych ściernic, wskazując przy tym intensywność zmian pracy ziaren ściernych na powierzchni czynnej ściernicy. To pozwala na wprowadzanie korekt do programu sterującego obrabiarką CNC lub ramieniem robota przemysłowego realizującego przemieszczenie głowicy obróbkowej wyposażonej w elastyczne narzędzie ściernie.

Połączenie w spójny system zespołu dosuwu nanometrycznego, charakteryzującego się dużą dokładnością pozycjonowania poprzez utrzymywanie charakterystyki liniowej w całym obszarze wydłużenia, z systemem diagnostycznym za pomocą sygnału EA oraz składowych siły powinno się przyczynić do podniesienia jakości i precyzji realizacji zadań obróbkowych przez głowicę.

Wykorzystanie zaawansowanych systemów monitorujących strefę roboczą pozwala na intensyfikację procesów obróbkowych. Umożliwia monitorowanie stanu zalepiania powierzchni czynnej narzędzia ściernego oraz analizę niekorzystnych zjawisk zachodzących na styku narzędzie ściernie–powierzchnia obrabiana.

Stosowanie systemu precyzyjnego pozycjonowania opartego na interferometrze laserowym wspomaganym dodatkowo sygnałem EA oraz składowymi siły w strefie szlifowania przyczynia się do kompensacji ugięcia elastycznego narzędzia ściernego oraz – w sprzężeniu zwrotnym – do podawania do zespołu dosuwu nanometrycznego sygnału sterującego. Dzięki temu uzyskuje się precyzyjne przejście narzędzia ściernego względem materiału obrabianego, nawet dla narzędzi charakteryzujących się dużą podatnością (ugięciem).

### LITERATURA

- Plichta J., Musiał W., „Innowacyjne narzędzia ściernie do wygładzania powierzchni kształtowych za pomocą robota przemysłowego”. *Współczesne problemy obróbki ścierniej*. Koszalin: Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2009, s. 97–108.
- Plichta J., Nadolny K., Musiał W., Sutowski P. (red.). „Wysoko efektywne szlifowanie materiałów trudno skrawalnych”. Koszalin: Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2012.
- Musiał W., „Stanowisko badawcze do realizacji mikro- i nanoszlifowania oraz skrawania z możliwością kompleksowego monitorowania procesu obróbkowego”. *Pierwsze Warsztaty Nanotechnologiczne*. Materiały konferencyjne. Mielno 2009.
- [www.physikinstrumente.com](http://www.physikinstrumente.com).
- <http://www.renishaw.com>.