

OPRACOWANIE KONCEPCJI ORAZ PROGRAMÓW PILOTOWYCH OPTYMALIZACJI SZTYWNOŚCI ZAMOCOWANIA PRZEDMIOTU OBRABIANEGO

KRZYSZTOF J. KALIŃSKI¹, BARTŁOMIEJ BONDARCZUK²,

^{1,2}*Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny*

Katedra Mechaniki i Mechatroniki

Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

SŁOWA KLUCZOWE: NADZOROWANIE DRGAŃ, SAMOWZBUDNE
DRGANIA CHATTER, SKRAWANIE, MAPA SZTYWNOŚCI.

STRESZCZENIE

Artykuł ma na celu przedstawienie metody minimalizacji drgań podczas obróbki przedmiotów wielkogabarytowych bez konieczności sterowania w trybie on-line kinematycznymi parametrami skrawania w trakcie obróbki. Wykorzystuje do tego różne współczynniki sztywności zamocowania przedmiotu obrabianego przez lokalizację sprężystych elementów mocujących o znanej sztywności w określonych miejscach.

1. Wstęp

Metodyka niniejszego opracowania, bazuje na wykorzystaniu technik projektowania mechatronicznego [1], które były sukcesywnie rozwijane w pracach zespołu projektowego, w zakresie frezowania szybkościowego przedmiotów podatnych [2].

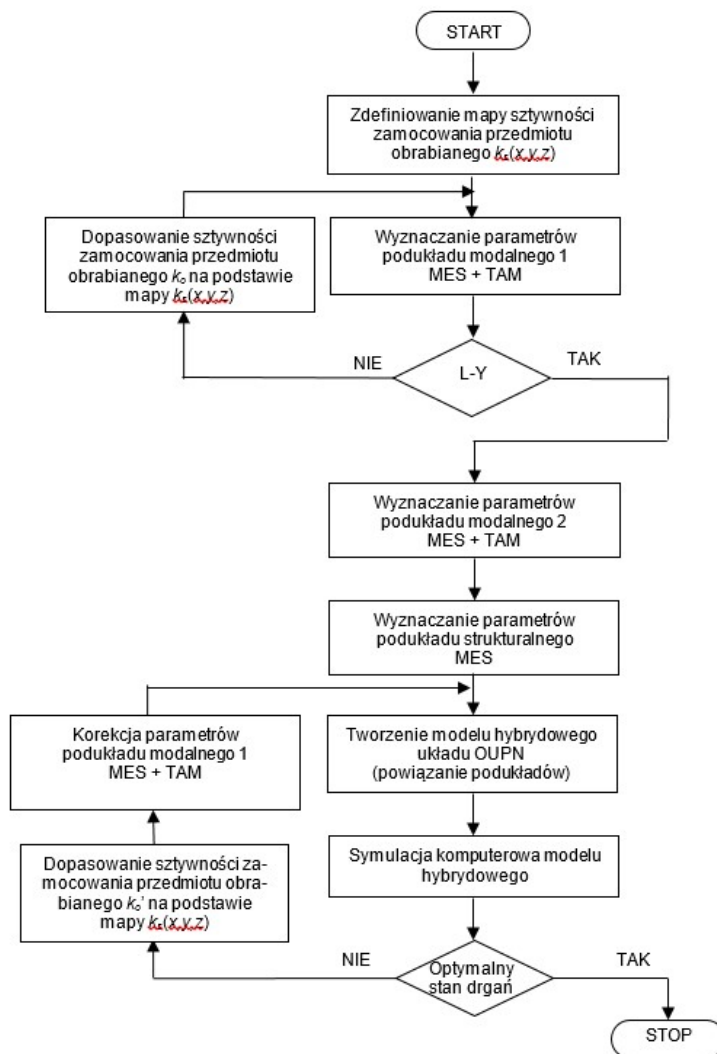
2. Opracowanie metody optymalizacji sztywności zamocowania przedmiotu obrabianego z uwagi na minimalizację poziomu drgań narzędzie-przedmiot obrabiany

Metoda ma na celu minimalizację poziomu drgań narzędzie-przedmiot obrabiany, bez konieczności sterowania w trybie *on-line* kinematycznymi parametrami skrawania w trakcie obróbki. Inspiracją stały się obiecujące wyniki dotychczasowych badań nad uchwytem mocującym frezowane przedmioty podatne, o regulowanej w trybie *off-line* sztywności

zamocowania[3]. Wówczas, optymalizacja sztywności zamocowania przedmiotu obrabianego polega na dopasowaniu częstotliwości i postaci drgań własnych układu OUPN tak, aby dla zadanej wartości prędkości obrotowej wrzeciona oraz prędkości posuwu przedmiotu obrabianego albo narzędzia, był spełniony warunek L-Y. Zaletą proponowanego podejścia jest niezmiennosc parametrów kinematycznych procesu (prędkości obrotowej, prędkości posuwu), a ustawianie sztywności zamocowania przedmiotu można zrealizować w trybie *off-line*, przed rozpoczęciem procesu.

W przypadku obróbki przedmiotów wielkogabarytowych, budowa specjalnego uchwytu o regulowanej sztywności zamocowania jest nieuzasadniona z praktycznego punktu widzenia. Natomiast różne współczynniki sztywności zamocowania przedmiotu obrabianego można uzyskać poprzez lokalizację sprężystych elementów mocujących o znanej sztywności, w określonych miejscach mocowania przedmiotu. W tym celu należy zdefiniować mapę sztywności zamocowania, tj. przyporządkować wartości współczynników sztywności k_s współrzędnym x, y, z opisującym położenie elementu mocującego przedmiot ($k_s(x, y, z)$), a następnie – wybrać wartość k_o tak, aby był spełniony warunek L-Y. Na etapie Wirtualnego Prototypowania zdefiniowanie mapy sztywności zamocowania przedmiotu obrabianego polega na szacowaniu wartości tych współczynników.

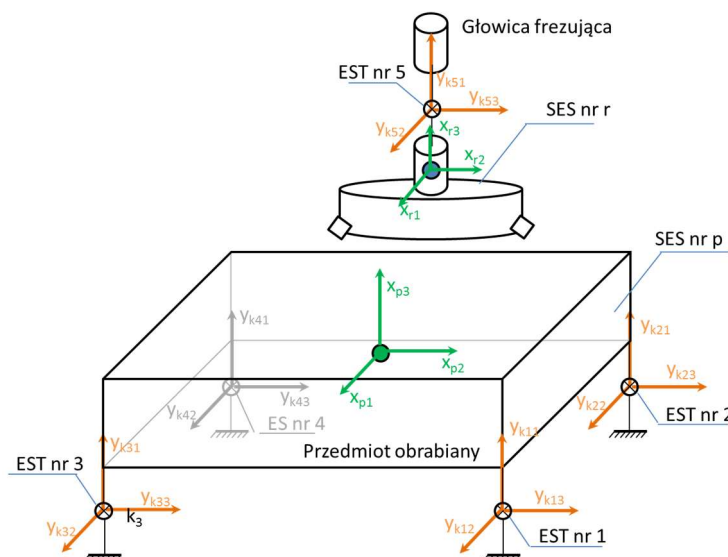
Schemat nadzorowania procesu skrawania przedmiotów wielkogabarytowych ilustruje rys. 1. W przypadku obróbki takich przedmiotów należy uwzględnić własności dynamiczne obrabiarki i procesu skrawania, jak również – zmienną konfigurację układu, spowodowaną zmianą w czasie położenia narzędzia i przedmiotu. Natomiast proces dopasowania sztywności zamocowania przedmiotu k_o należy powtarzać, aż do momentu uzyskania optymalnego stanu drgań.



Rys. 1. Nadzorowanie procesu skrawania przedmiotów wielkogabarytowych z wykorzystaniem optymalizacji sztywności zamocowania przedmiotu obrabianego oraz techniki W

3. Opracowanie modelu obliczeniowego przedmiotu obrabianego do pilotowego programu symulacji komputerowej nadzorowania procesu frezowania czółowego

W celu przeprowadzenia symulacji drgań utworzono model dyskretny układu przedmiot obrabiany – głowica frezująca w konwencji metody sztywnych elementów skończonych (SES) (rys. 2).



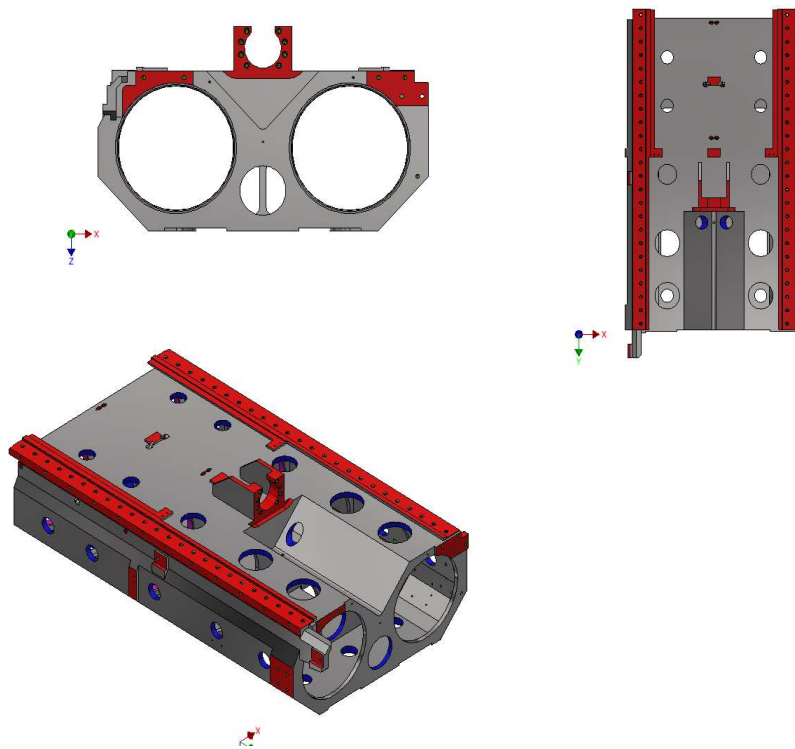
Rys. 2. Model dyskretny układu przedmiot obrabiany – głowica frezująca w konwekcji metody sztywnych elementów skończonych

Przemieszczenia uogólnione środka masy SES nr r oraz SES nr p opisano w lokalnych układach współrzędnych x_{r1}, x_{r2}, x_{r3} (główne centralne osie bezwładności SES nr r) oraz x_{p1}, x_{p2}, x_{p3} (główne centralne osie bezwładności SES nr p). Odształcenia elementów sprężysto-tłumiących (EST) zdefiniowano odpowiednio w lokalnych układach głównych osi sztywności $y_{k11}, y_{k12}, y_{k13}$ EST nr 1, $y_{k21}, y_{k22}, y_{k23}$ EST nr 2, $y_{k31}, y_{k32}, y_{k33}$ EST nr 3, $y_{k41}, y_{k42}, y_{k43}$ EST nr 4, $y_{k51}, y_{k52}, y_{k53}$ EST nr 5.

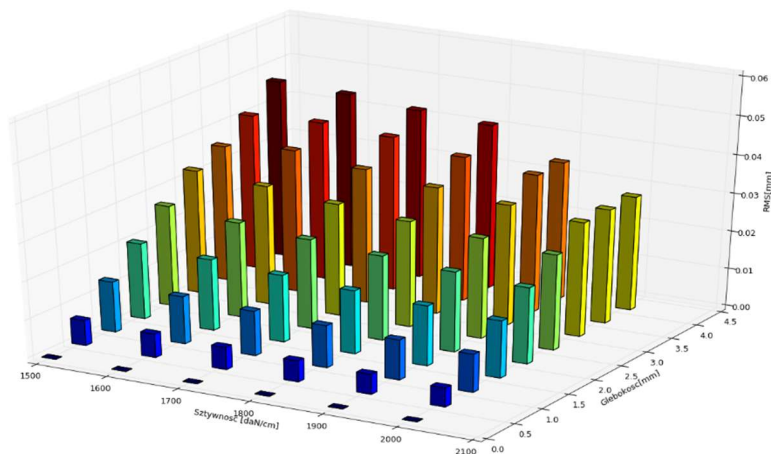
Jako testowy przedmiot obrabiano przyjęto część nr 440424, pochodzącą ze standardowego programu produkcyjnego PHS HYDROTOR S.A. Przedstawiono ją na rys. 3.

4. Ocena symulowanych drgań przedmiotu obrabianego podczas frezowania czołowego z wykorzystaniem zmiany współczynników sztywności zamocowania przedmiotu

Przeprowadzono symulację drgań przedmiotu obrabianego podczas frezowania czołowego z wykorzystaniem zmiany współczynników sztywności zamocowania przedmiotu, dla wartości parametrów podanych w tab. 1. Do symulacji wykorzystano pilotowy zestaw oprogramowania. Zbiorcze zestawienie uzyskanych RMS, dla różnych kombinacji współczynników sztywności oraz głębokości skrawania, przedstawiono na rys. 4.



Rys. 3. Przedmiot obrabiany 440424 z zaznaczonymi powierzchniami do frezowania



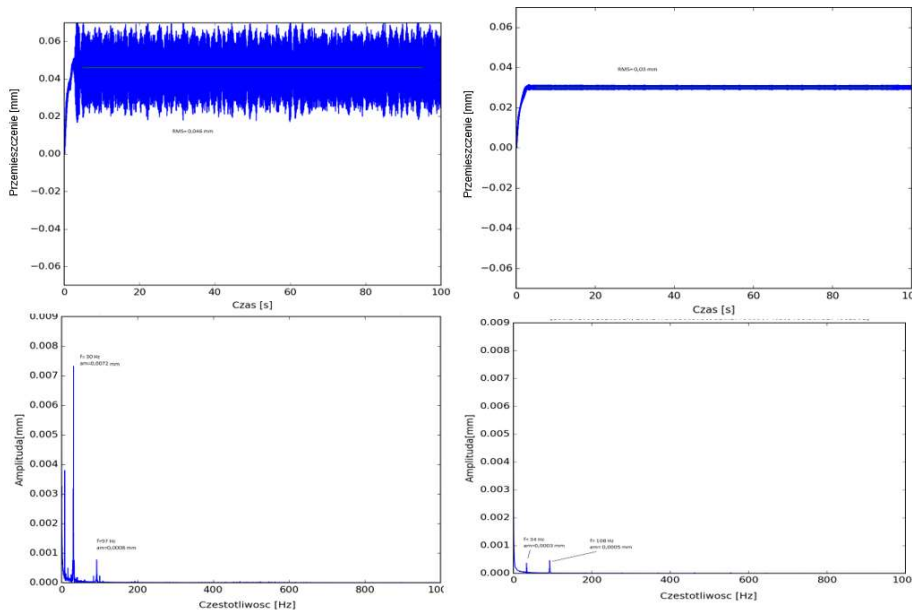
Rys. 4. Wartości *RMS* przemieszczeń przedmiotu obrabianego w kierunku osi *x* w zależności od współczynnika sztywności zamocowania przedmiotu k_1 i głębokości skrawania a_p

Tabela 1. Parametry obróbki skrawaniem oraz modelu obliczeniowego przedmiotu obrabianego dla różnych współczynników sztywności zamocowania przedmiotu

Nazwa	Oznaczenie	Wartość	Jednostka
Czas trwania procesu	t	100	s
Liczba ostrzy	z	5	
Posuw na ostrze	f_z	0.09	mm
Prędkość obrotowa wrzeciona	n_0	1111	obr/min
Szerokości frezowania	B_1, B_2	30	mm
Średnica freza	D	63	mm
Głębokość skrawania	a_p	0.5 – 4 co 0.5	mm
Długość śladu (ścieżki narzędzia)	l_d	833	mm
Prędkość posuwu	v_f	$v_f = n_0 f_z z$	mm/min
Dynamiczny opór skrawania powierzchniowy właściwy	k_{dl}	300	daN/mm ²
Współczynnik posuwowej siły skrawania	μ_{l2}	0.3	-
Współczynnik odporowej siły skrawania	μ_{l3}	0.2	-
Współczynnik sztywności zamocowania przedmiotu obrabianego w kierunku y_{k1}	k_1	1500 – 2000 co 100	N/mm
Współczynnik sztywności zamocowania przedmiotu obrabianego w kierunku y_{k2}	k_2	15000 – 20000 co 1000	N/mm
Współczynnik sztywności zamocowania przedmiotu obrabianego w kierunku y_{k3}	k_3	15000 – 20000 co 1000	N/mm

Wyniki symulacji drgań przedmiotu obrabianego w kierunku osi x_3 dla wybranych parametrów:





Rys. 5 Po lewej stronie: przebiegi czasowe przemieszczeń oraz widma amplitudowe przemieszczeń przedmiotu obrabianego w kierunku osi x_3 , $n_0 = 1111$ obr/min, $a_p = 4$ mm, $k_1 = 1600$ N/mm, $k_2 = 16000$ N/mm, $k_3 = 16000$ N/mm;
 Po prawej stronie: przebiegi czasowe przemieszczeń oraz widma amplitudowe przemieszczeń przedmiotu obrabianego w kierunku osi x_3 , $n_0 = 1111$ obr/min, $a_p = 4$ mm, $k_1 = 2000$ N/mm, $k_2 = 20000$ N/mm, $k_3 = 20000$ N/mm

Na podstawie otrzymanych wyników symulacji (rys. 5) można stwierdzić, że wybrana spośród policzalnego zbioru wartości kombinacja optymalnych współczynników sztywności zamocowania przedmiotu, z uwagi na minimalną wartość RMS (najniższy poziom drgań) i maksymalną wartość $a_p = 4$ mm (największa wydajność obróbki), wynosi: $k_1 = 2000$ N/mm, $k_2 = 20000$ N/mm, $k_3 = 20000$ N/mm.

Bibliografia

1. Petko M.: Wybrane metody projektowania mechatronicznego. Radom: Wyd. Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji 2008.
2. Kaliński K. J., Galewski M. A.: Vibration Surveillance Supported by Hardware-In-the-Loop Simulation in Milling of Flexible Workpieces. Mechatronics 2014, 24, 1071-1082.
3. Kaliński K. J., Chodnicki M., Mazur M. R., Galewski M. A.: Vibration Surveillance System with Variable Stiffness Holder for Milling Flexible Details. W: Applied Non-Linear Dynamical Systems. Ed. J. Awrejcewicz. Springer International Publishing Switzerland 2014, 175-184.

