

Analiza termiczna szczeliny powietrznej między powierzchnią roboczą prowadnicy aerostaticznej i roboczą powierzchnią prowadzącą

Thermal analysis of air gap between air bearing working surface and working guide surface

JACEK GOGÓL
JANUSZ FRANCAK *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.5-6.85
Międzynarodowa Konferencja IMT 2016

W trakcie prowadzonych w IZTW prac nad wpływem zjawisk termicznych na błędy geometrii maszyn pomiarowych z użyciem modelowania cyfrowego [1÷3] zaistniała potrzeba wyznaczenia parametru współczynnika przewodności cieplnej, umożliwiającego przeprowadzenie wiarygodnej analizy termicznej typu *transient* dla szczeliny powietrznej prowadnicy aerostaticznej.
SŁOWA KLUCZOWE: WMP, analiza termiczna, przewodność cieplna styku

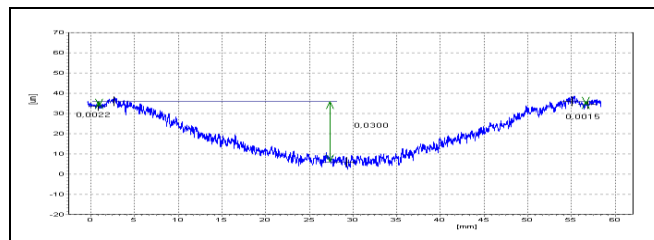
In the course of works carried out in the Institute of Advanced Manufacturing Technology on the impact of thermal issues on geometry errors of CMM using computer modelling [1÷3] there was a need to designate the coefficient of thermal conductivity in a gap of air bearing (Thermal Conductance Value in ANSYS system) to enable a reliable transient thermal analysis.
KEYWORDS: CMM, thermal analysis, contact conductance

W konstrukcji maszyn pomiarowych szczególnym i rzadko spotykanym w innych konstrukcjach elementem jest prowadnica aerostaticzna. Umożliwia ona bardzo precyzyjny przesuw głównych elementów maszyny, praktycznie pozbawiony oporów wynikających z tarcia elementów. W analizie termicznej takiego elementu konieczne jest wyznaczenie prawidłowego współczynnika przewodności cieplnej styku (parametr wewnętrzny programu ANSYS) tych elementów, zarówno w momencie braku powietrza (brak szczeliny), jak i w trakcie pracy z poduszką powietrzną (szczelina otwarta).

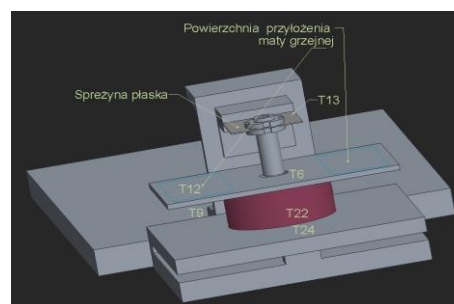
Z uwagi na dużą różnorodność stosowanych przez producentów rozwiązań konstrukcyjnych prowadnic aerostaticznych, należy podejść do każdego z rozwiązań w sposób indywidualny. Ponieważ obiektem badań jest ręczna maszyna pomiarowa (NMP 554) produkcji IZTW, skupiono się na analizie konstrukcji prowadnic wykorzystanych w tym rozwiązaniu. Są to prowadnice ze stopu aluminium pokryte warstwą tlenkową zwiększającą twardość i odporność na uszkodzenia w przypadku awaryjnego użycia. Powierzchnia robocza takiej prowadnicy jest specjalnie wyprofilowana. Jest to prowadnica o kształcie cylindrycznym, z jedną centralną dyszą. Przykładowy profil przekrojowy powierzchni roboczej pokazano na rys. 1. W celu wyznaczenia parametru przewodności cieplnej styku zbudowano specjalne stanowisko testowe umożliwiające analizę pracy prowadnicy w trybie szczeliny zarówno zamkniętej, jak i otwartej. Schemat i rozmieszczenie punktów pomiarowych temperatury przedstawiono na rys. 2 i 3.

Prowadnicę wraz z układem śruby montażowej i przegubu kulowego zamocowano do sprężyny płaskiej, która umożliwia pojawienie się szczeliny po podaniu ciśnienia na powierzchnię roboczą prowadnicy.

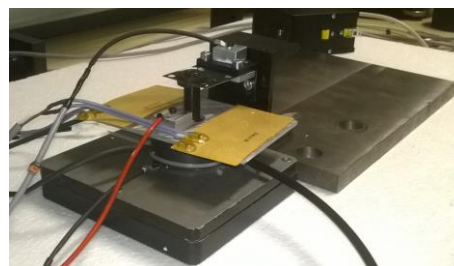
* Mgr inż. Jacek Gogól, mgr inż. Janusz Franczak (ios@ios.krakow.pl) – Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania



Rys. 1. Profil powierzchni roboczej prowadnicy aerostaticznej



Rys. 2. Schemat stanowiska do wyznaczenia współczynnika przewodności cieplnej styku prowadnicy aerostaticznej



Rys. 3. Widok stanowiska do wyznaczenia współczynnika przewodności cieplnej styku prowadnicy aerostaticznej

Na górnej powierzchni prowadnicy umieszczono płytkę aluminiową, na której zainstalowano dwie maty grzejne będące źródłem ciepła. W zaznaczonych punktach (t_6 , t_8 , t_{12} , t_{13} , t_{22} , t_{24}) zainstalowano sześć termistorowych czujników temperatury podłączonych do systemu rejestracji temperatury kontrolera UCC2 firmy Renishaw o dokładności $\pm 0,1$ °C.

W tabl. I zestawiono wyniki pomiarów podzielone na trzy etapy pomiarowe: (1) etap nagrzewania układu z zamkniętą szczeliną, (2) etap po otwarciu szczeliny, (3) etap po ponownym zamknięciu szczeliny.

Analizę symulacyjną zarejestrowanych uprzednio badań przeprowadzono w analogicznych trzech etapach w module Transient Thermal ANSYS v.16.0, czyli dynamicznej analizie termicznej w funkcji czasu. Wyniki każdego kolejnego etapu przenoszono do kolejnej analizy w formie rozkładu temperatur w końcowym momencie poprzedzającej analizy.

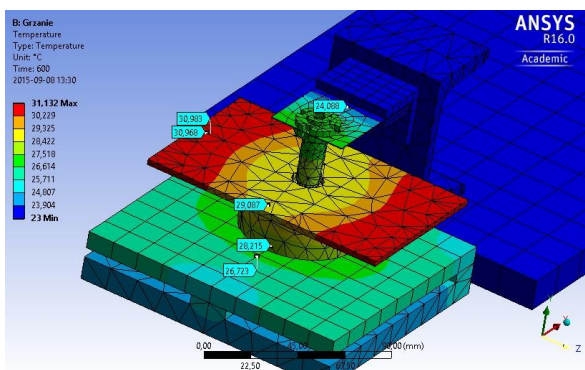
TABLICA I. Zestawienie wyników pomiarów temperatur [°C]

Czas	t6	t9	t12	t13	t22	t24	
2015-07-22 12:35:03	23,3	22,9	23,1	23,0	23,2	23,4	start rej
2015-07-22 12:36:00	23,3	22,9	23,1	23,0	23,2	23,4	start grzanie
2015-07-22 12:45:06	29,3	23,0	30,6	23,4	28,1	26,6	start szczelina
2015-07-22 12:45:07	29,4	23,0	30,7	23,4	28,1	26,6	
2015-07-22 12:50:16	32,1	23,2	33,2	23,7	30,5	26,7	stop szczelina
2015-07-22 12:50:17	32,0	23,2	33,2	23,7	30,2	27,0	
2015-07-22 13:00:07	32,5	23,2	33,8	24,1	31,1	29,7	stop rejestracja

Etap pierwszy: grzanie

Parametrami brzegowymi analizy były: temperatura początkowa $T_0 = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$, przepływ ciepła A i B na dwóch powierzchniach aluminiowej płytki do których przyłożono maty grzejne o mocy 4 W, izolacja cieplna C i D (Perfectly Insulated Heat Flow) na dwóch powierzchniach dolnych płyt bazowych, posadowionych na izolującej warstwie styropianu, konwekcja swobodna $E: 2 \cdot 10^{-6}\text{ W/mm}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$.

W końcowym momencie analizy po upływie 10 min (600 s) otrzymano wyniki rozkładu temperatur przedstawione graficznie (rys. 4, tabl. II) z zaznaczonymi wartościami temperatury odpowiadającymi położeniu czujników temperatury.



Rys. 4. Rozkład temperatury w końcowym momencie etapu grzania

TABLICA II. Zestawienie pomiarów z wynikami symulacji (w °C) w punktach rozmieszczenia czujników

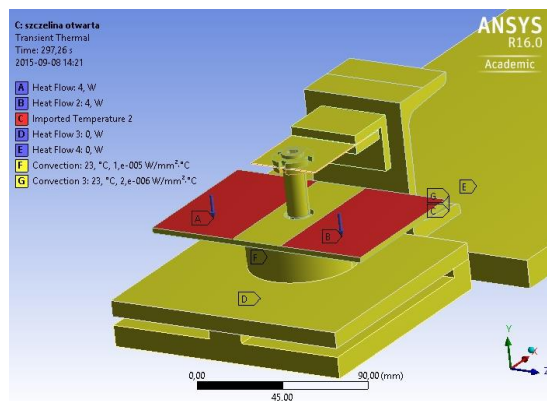
	t6	t9	t12	t13	t22	t24
Pomiary	29,3	23	30,6	23,4	28,1	26,6
Symulacja	29,1	23	30	24	28,2	26,7
Różnica	0,2	0	0,6	-0,6	-0,1	-0,1

Wyniki te uzyskano dla przyjętego współczynnika przewodności cieplnej styku między powierzchnią roboczą przewodnicy aerostatycznej a powierzchnią współpracującej z nią płyty o wartości $0,06\text{ W/mm}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$.

Konieczność wprowadzenia tak niskiego manualnego współczynnika wynika z faktu styku elementów tylko na wąskim obszarze pierścienia zewnętrznego powierzchni roboczej przewodnicy, a także pokrycia powierzchni przewodnicy powłoką ochronną zmieniającą standardowy współczynnik przewodzenia styku dla stopu aluminium. Jak widać, uzyskano dużą zgodność dla miejsca styku powierzchni roboczej przewodnicy z płytą na poziomie $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, a więc na poziomie niepewności pomiarowej czujnika temperatury.

Etap drugi: szczelina otwarta

Kolejny krok symulacji to pięciominutowy (300 s) okres otwartej szczeliny po podaniu ciśnienia. Warunki brzegowe przedstawiono na rys. 5. Jak widać, w stosunku do poprzedniej sytuacji pojawia się tu importowany rozkład temperatur C, oraz dodatkowa konwekcja G na powierzchni roboczej przewodnicy i płyty wynikająca z przepływu strumienia powietrza w szczelinie.



Rys. 5. Schemat warunków brzegowych etapu szczelina otwarta

Przy założonym współczynniku przewodności cieplnej styku między powierzchnią roboczą przewodnicy aerostatycznej a powierzchnią współpracującą z nią płyty o wartości $0,01\text{ W/mm}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ otrzymano następujący rozkład temperatur przedstawiony w tabl. III.

TABLICA III. Zestawienie pomiarów z wynikami analiz, w °C

	t6	t9	t12	t13	t22	t24
Pomiary	32	23,1	33,2	23,7	30,5	26,7
Symulacja	31,7	22,7	33,5	23,6	30,7	27
Różnica	0,3	0,4	-0,3	0,1	-0,2	-0,3

Etap trzeci: szczelina zamknięta

W trzecim etapie dla sprawdzenia poprawności założeń z etapu pierwszego przeprowadzono symulację po zamknięciu szczeliny spowodowanym odcięciem ciśnienia. Wartości warunków brzegowych są identyczne jak w etapie pierwszym, z wyjątkiem wprowadzenia rozkładu temperatury z końca etapu drugiego.

Rozkład temperatury w końcu trzeciego etapu ze współczynnikiem o wartości $0,06\text{ W/mm}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$, czyli takim samym jak na początku, przedstawiono w tabl. IV.

TABLICA IV. Zestawienie pomiarów z wynikami analiz, w °C

	t6	t9	t12	t13	t22	t24
Pomiary	32,5	23,2	33,8	24,1	31,1	29,7
Symulacja	32,1	22,9	34	24,4	31,1	29,9
Różnica	0,4	0,3	-0,2	-0,3	0	-0,2

Podsumowanie

Biorąc pod uwagę dużą zgodność zmierzonej temperatury z temperaturą otrzymaną drogą symulacji, zwłaszcza w interesującym nas punkcie styku przewodnicy z płytą (t22 i t24), przeprowadzona symulacja umożliwiła przyjęcie do dalszych prac symulacyjnych związanych ze zjawiskami termicznymi w maszynach pomiarowych współczynnika przewodności cieplnej styku o wartości $0,06\text{ W/mm}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ dla szczeliny zamkniętej oraz współczynnika przewodności cieplnej styku o wartości $0,01\text{ W/mm}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ dla szczeliny otwartej.

LITERATURA

- Gogól J. „Konceptcja kompensacji termicznej pomiarów na współrzędnościowych maszynach pomiarowych przy użyciu analizy numerycznej”. *Mechanik*. R. 85. nr 3 (2012): s. 222+225.
- Gogól J. „Zagadnienia termiczne w obrabiarkach i współrzędnościowych maszynach pomiarowych – różnice i podobieństwa”. *Mechanik*. R. 87, nr 11 (2014): s. 892+895.
- Gogól J. „Analiza zjawisk termicznych we współrzędnościowych maszynach pomiarowych z użyciem systemów CAD”. *Mechanik*. R. 88, nr 12 (2015): s. 950+953.