

Wpływ temperatury na dynamikę układu wirnik – łożyska foliowe

The influence of temperature on dynamics of the rotor – foil bearing system

PAWEŁ BAGIŃSKI
GRZEGORZ ŻYWICA *

Materiały z XX SKWPIE, Jurata 2016 r.
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.103

Artykuł przedstawia badania wpływu wzrostu temperatury, w jakiej pracuje wirnik podparty na łożyskach foliowych, na dynamikę całego układu. Badania przeprowadzono na zbudowanym stanowisku badawczym z modułem do podnoszenia temperatury otoczenia wokół łożysk. Podczas badań zarejestrowano przebiegi czasowe drgań oraz przemieszczenia i temperaturę wewnątrz łożyska foliowego. Następnie podniesiono temperaturę w obrębie jednej podpory łożyskowej do ok. 160 °C. Ponownie zarejestrowano przebiegi czasowe i porównano je ze sobą. Po analizie otrzymanych wyników można było stwierdzić, że układ wykazywał dużą wrażliwość na zmianę warunków termicznych pracy wirnika. Wirnik zwiększał swoją średnicę, przez co zmniejszała się szczelina smarna w łożyskach. Mimo niekorzystnych warunków pracy wirnika można powiedzieć, że układ dalej pracował stabilnie. **SŁOWA KLUCZOWE:** dynamika wirników, łożyska foliowe, temperatura łożysk

The article presented research of growth temperature effect at which the working rotor supported on the foil bearings on the dynamics of this system. Tests were carried out on the test rig constructed with the module to raise the ambient temperature around the bearings. During the study recorded time courses of vibration, displacement and temperature which were inside the foil bearing. Then, the temperature was raised within one of the bearing support to approx. 160°C. Time courses was again recorded and compare them. After analyzing the results could be noted that, the system was sensitive to the changing in temperature conditions of the rotor. Shaft increased diameter thus reduced the lubricating gap in bearings. Despite the unfavorable working conditions of the rotor could be said the system was further worked stably.

KEYWORDS: rotordynamic, foil bearings, bearing's temperature

Artykuł opisuje badania wykonywane w ramach projektu PBS1/A6/6/2012 pt. „Wykorzystanie materiałów termoelektrycznych do poprawy stabilności termicznej systemów łożyskowania wirników szybkoobrotowych”, realizowanego przez konsorcjum AGH w Krakowie i IMP PAN w Gdańsku [1÷3].

Obiekt badań i stanowisko badawcze

Obiektem badań był układ składający się z wirującego wirnika osadzonego na łożyskach foliowych [1]. Wał został napyłony warstwą tlenku chromu, a elementy aerodynamicznego łożyska foliowego kontaktujące się z nim zostały pokryte warstwą tworzywa sztucznego, tworząc parę cierną. Rotor o masie 3 kg został połączony z silnikiem o mocy 3 kW za pomocą sprzęgła kłowego kardanowego z elementem pośrednim z wkładkami elastycznymi. Elektrowrzeciono (silnik) pracowało na dwóch łożyskach kulkowych ceramicznych. Maksymalna prędkość obrotowa wirnika to 24 000 obr/min. Stanowisko badawcze zostało wyposażone w płytę z teflonu o grubości 4 mm, która miała na celu zapobiegać przewodzeniu ciepła pomiędzy elementami stanowiska i promieniowaniu ciepła

* Mgr inż. Paweł Bagiński (pbaginski@imp.gda.pl), dr inż. Grzegorz Żywica (gzywica@imp.gda.pl) – Instytut Maszyn Przepływowych im. Roberta Szwalskiego PAN w Gdańsku

do otoczenia ze stalowej płyty. Jedna z podpór (wolny koniec wału) została w próbach grzania odizolowana od otoczenia za pomocą szklanej komory (rys. 1).

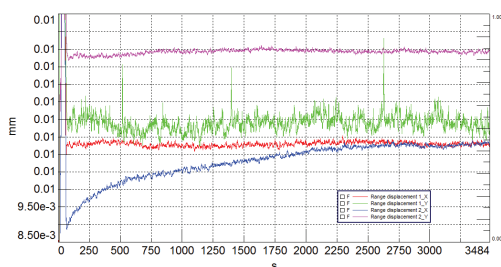


Rys. 1. Stanowisko badawcze łożysk foliowych

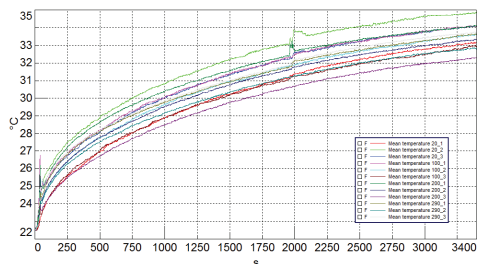
Temperatura wewnątrz została podniesiona do ok. 160 °C przy użyciu oryginalnego, opracowanego w IMP PAN układu grzewczego, składającego się z następujących elementów: działa cieplnego (*heat gun*), promienników z wbudowanymi termoparami, regulatorów temperatury, termopar typu K [2]. Układ pomiarowy składa się z czujników temperatury, czujników prędkości obrotowej, akcelerometrów i czujników wibroprądowych. Pomiar temperatury folii ślizgowej był realizowany za pomocą termopar typu K, o średnicy 0,5 mm, z osłoniętą spoiną pomiarową. Sposób montażu termopar miał umożliwić styk ich końcówek z powierzchnią folii ślizgowej. W tym celu nawiercono w panwi cztery otwory o średnicy 4 mm, w które wsunęto końcówki termopar, mocując przewody silikonem wysokotemperaturowym do krawędzi otworu. Termopary umieszczono w pozycjach odpowiadających kątom 20°, 100°, 200° i 290° obrotu wału wirnika.

Wyniki pomiarów bez podwyższania temperatury w jednym z węzłów łożyskowych

Pomiary przeprowadzono przy prędkości maksymalnej przez ok. godzinę. Wydłużony czas pomiaru miał na celu ustabilizowanie się temperatury. Rysunek 2 przedstawia przemieszczenie względne wału zarejestrowane przez czujniki wibroprądowe zamocowane na podporach łożyskowych. Był to pomiar w warunkach temperatury pokojowej. Linie czerwona i zielona były to krzywe zarejestrowane przy pierwszym łożysku foliowym – przy silniku), natomiast niebieska i fioletowa – przy drugim. Można zaobserwować, że po godzinie pracy wirnika amplitudy drgań minimalne podwyższyły swój poziom. Krzywe na wykresie zostały ograniczone na osi rzędnych. Pierwsza prędkość krytyczna wystąpiła w 35 sekundzie pomiaru przy prędkości obrotowej wynoszącej ok. 12 000 obr/min. Największa wartość drgań wystąpiła w łożysku pierwszym (maks. 0,16 mm), poziom drgań drugiego łożyska to 0,075 mm.



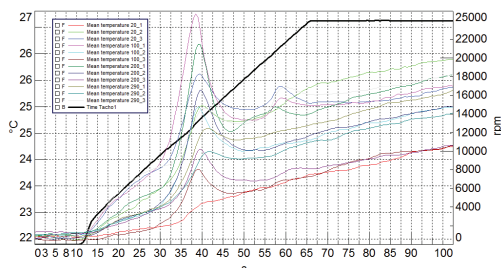
Rys. 2. Przemieszczenie wirnika zarejestrowane przez czujniki wiropędowe podczas pracy układu bez podwyższania temperatury wokół łożyska



Rys. 3. Temperatura zarejestrowana w łożysku foliowym podczas pracy układu bez podwyższania temperatury wokół łożyska

Rysunek 3 przedstawia przebieg stabilizowania się temperatury w łożysku drugim podczas pracy wirnika. Można zauważyć, że po ok. godzinie pracy poziom temperatury nie ustabilizował się do jednej wartości. Temperatura w każdym z mierzonych miejsc była różna, co wynikało z pracy łożyska foliowego. W badanym zakresie wystąpiły dwie zauważalne skokowe zmiany temperatury. W ok. 2000 sekundzie pomiaru wystąpił nagły wzrost temperatury zarejestrowany przez większość termopar. Spowodowane było to dopasowaniem się geometrii zespołu folii do warunków pracy.

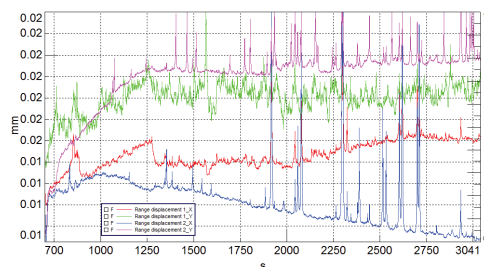
Nagły skok w początkowym okresie pomiaru, a dokładniej przy starcie, był związany ze wzrostem temperatury spowodowanym tarciami pomiędzy wałem a folią gładką i relatywnie dużą prędkością obrotową. Szczegółowa analiza tego zjawiska (rys. 4) pokazuje, że do 30 s występowało tarcie suche z powolnym tworzeniem się bardzo cienkiej warstwy filmu powietrznego. Pomiędzy 30 a 40 sekundą pomiaru temperatura gwałtownie wzrosła. Wał próbował podnieść się na warstwie filmu smarnego, a zwiększone ciśnienie powietrza próbowało rozepchać zespół folii. Czop poruszał się w łożysku, przycierając się w jeszcze zaciśniętej folii. Po przekroczeniu odpowiedniej prędkości nastąpiło całkowite oderwanie wału od folii, a temperatura natychmiastowo spadła do poziomu nagrzewania się łożyska. Pierwsza prędkość krytyczna nie miała wpływu na temperaturę w łożysku, gdyż wystąpiła kilka sekund wcześniej.



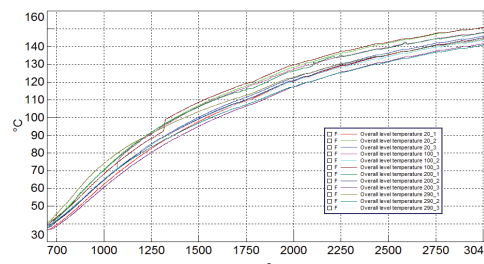
Rys. 4. Przebieg temperatury podczas startu wirnika. Wycinek z przebiegu z rys. 6

Wyniki pomiarów przy podwyższonej temperaturze w jednym z węzłów łożyskowych

Przeprowadzenie pomiaru w taki sposób, że otoczenie drugiego węzła łożyskowego nagrzewałoby się do wysokiej temperatury, a potem nastąpiłby start, prawdopodobnie skutkowałoby zniszczeniem układu. Dlatego nagrzewano układ podczas pracy



Rys. 5. Przemieszczenie wirnika zarejestrowane przez czujniki wiropędowe podczas pracy układu z podwyższoną temperaturą wokół łożyska



Rys. 6. Temperatura zarejestrowana w łożysku foliowym podczas pracy układu z podwyższoną temperaturą wokół łożyska

wirnika z maksymalną temperaturą i zebrano charakterystyki. Przebieg drgań bezwzględnych (rys. 5) od momentu włączenia układu grzewczego pokazuje charakter pracy układu. Piki widoczne na rysunkach były zakłóceniami pochodzącymi od regulatorów temperatury znajdujących się na konstrukcji, które wymuszały drgania. Pomimo wysokiej temperatury i dodatkowego wymuszenia układ pracował stabilnie.

Temperatura w łożysku (rys. 6) rosła stabilnie w całym zakresie. W 1300 sekundzie pomiaru w łożysku pierwszym doszło do gwałtownej zmiany poziomu amplitudy drgań, ale także skutkowało to gwałtowną zmianą trendu temperatury na kącie 100°. Prawdopodobnie doszło do przemieszczenia w sprzęgle.

Podsumowanie

W czasie pomiarów silnik, który pracował z maksymalną prędkością obrotową, nagrzewał się do ok. 60 °C, co zmieniło położenie napędu o kilka μm . łożyska, nagrzewając się do temperatury 36 °C, po kilku godzinach pracy także zmieniły swoje wymiary geometryczne. Pomimo niekorzystnych warunków, takich jak wysoka temperatura czy wymuszenia dynamiczne pochodzące spoza układu wirującego, które wystąpiły podczas przeprowadzonych badań, wirnik pracował stabilnie w całym zakresie pomiarowym. Można powiedzieć, że podwyższona temperatura pracy łożyska była korzystna, ponieważ wirnik, zwiększając swoją średnicę, zmniejszał luz smarny, co zmniejszało poziom przyspieszeń drgań. Amplituda drgań rosła, lecz nie miało to dużego znaczenia praktycznego.

LITERATURA

1. Bagiński P., Żywica G. „Opracowanie stanowiska badawczego oraz koncepcja badań wysokoobrotowych łożysk foliowych”. *Mechanik*. Nr 07/2014: s. 19÷26.
2. Żywica G., Bagiński P., Bogulicz M. „Analiza właściwości dynamicznych wirnika stanowiska do badania wysokoobrotowych łożysk foliowych”. *Mechanik*. Nr 07/2014: s. 753÷760.
3. Bagiński P., Banaszek S., Żywica G., Kiciński J. „Charakterystyki cieplne łożyska foliowego pracującego w podwyższonej temperaturze w warunkach rozbiegu, wybiegu i pracy ze stałą prędkością obrotową”. *Mechanik*. Nr 07/2015: s. 21÷28.
4. Żywica G., Bagiński P., Banaszek S. “Experimental studies on foil bearing with a sliding coating made of synthetic material”. *ASME Journal of Tribology*. 2016; 138(1): 011301-011301-10.
5. Kiciński J., Żywica G., Bagiński P. “Thermal studies on foil bearings with a sliding coating made of plastic material”, Proc. of the 9th IFTOMM International Conference on Rotor Dynamics. 2015, Vol. 21: pp. 1183÷1193. ■