

ANALIZA WPLYWU PROPAGACJI PEKNIECIA WIRNIKA NA STAN DYNAMICZNY DUZEJ MASZYNY ENERGETYCZNEJ

Sławomir BANASZEK

Instytut Maszyn Przepływowych im. R. Szwalskiego PAN, Zakład Dynamiki Wirników i Łożysk Ślizgowych
ul. Fiszera 14; 80-952 Gdańsk, tel. (+58) 3460881 w.264, fax: (+58) 3466144, e-mail: tolek@imp.gda.pl

Streszczenie

Praca przedstawia przebieg i wyniki badań symulacyjnych wpływu pęknięcia w wirniku turbozespołu energetycznego dużej mocy na jego stan dynamiczny. Rozważono niektóre możliwe przypadki osiowego (wzdłuż długości wirnika) i obwodowego umiejscowienia pęknięcia. Głębokość pęknięcia określono przez tzw. współczynnik pęknięcia, zwany również względną głębokością pęknięcia. Na podstawie wyników obliczeń prześledzono stany maszyny przy propagacji pęknięcia. Podjęto także próbę określenia wiarygodnego wyróżnika diagnostycznego pęknięcia wirnika.

Słowa kluczowe: pęknięcie, dynamika maszyn, maszyny wirnikowe, diagnostyka symulacyjna

THE ANALYSIS OF THE ROTOR CRACK PROPAGATION INFLUENCE ON THE LARGE POWER MACHINE DYNAMIC STATE

Summary

The paper presents the course and results of the rotor crack influence on the large power turbo-set dynamic state simulation research. Some chosen cases of the axial and circumferential crack position were taken into consideration. Crack depth has been described as a crack coefficient (relative crack depth). The calculations' results were base to research the machine dynamic states in relation to the crack propagation. The reasonable crack diagnostic indicator was tried to find.

Keywords: crack, machine dynamics, rotating machinery, simulation diagnostics

1. UWAGI WSTĘPNE

Zagadnienia wczesnego wykrywania imperfekcji materiałowych i konstrukcyjnych w maszynach wirnikowych stanowią przedmiot licznych publikacji od wielu już lat. Pomimo to wiele zagadnień ciągle pozostaje nierozwiązanych do końca. Dotyczy to zwłaszcza takich zagadnień jak sprzężone formy drgań nieliniowych wielopodporowych wirników spowodowanych np.: pęknięciem wału czy też kwestia określenia właściwego wyróżnika diagnostycznego takiego stanu [1]

W niniejszej pracy podjęto próbę określenia wpływu pęknięcia na stan dynamiczny dużej maszyny energetycznej, jaką jest turbozespół o mocy 200MW. W badaniach oparto się na symulacjach komputerowych. Jest to bowiem praktycznie jedyna metoda określenia symptomów tego typu defektu (propagacji pęknięcia) w tak dużych obiektach. Wykonanie czynnego eksperymentu na tego typu maszynie, wiążącego się przecież z nieodwracalnym zniszczeniem jej wirnika, byłoby praktycznie niemożliwe chociażby ze względu na koszty. Dostępne w literaturze dane eksperymentalne dotyczą na ogół bardzo małych i prostych (modelowych) obiektów, i trudno odnieść je, z uwagi na efekt skali i inną strukturę, do obiektów znacznie większych i złożonych [2].

Podjęta zostanie również próba wskazania wyróżnika diagnostycznego dla pęknięcia wału maszyny.

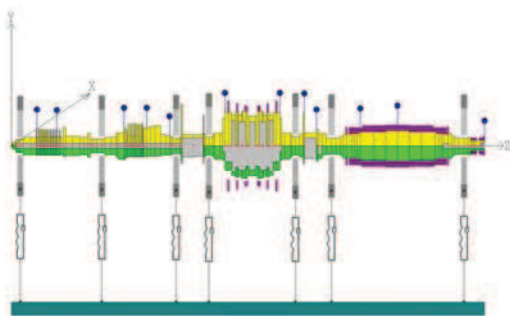
2. NARZĘDZIE BADAWCZE

Podstawowym narzędziem badawczym w Zakładzie Dynamiki Wirników i Łożysk Ślizgowych IMP PAN jest oryginalnie opracowany system programów komputerowych NLDW, służący do symulacji stanów dynamicznych układów wirnikowych łożyskowanych ślizgowo. Oparty jest on o tzw. diatermiczny model wymiany ciepła w łożysku (silnie nieliniowy) [3]. Linia wirników została zamodelowana za pomocą MES. Unikalną możliwością programu NLDW jest uwzględnienie ugięć kinetostatycznych wirnika.

Celem uwzględnienia poprzecznego pęknięcia w wale zastosowany został znany z literatury model elementu z poprzecznym pęknięciem Knotta typu: pełne otwarcie-pełne zamknięcie [4]. Dynamiczna macierz podatności konstrukcji podpierającej i fundamentu może być określona za pomocą programów bazujących na MES. Może zostać określona także na podstawie pomiarów, tak jak to miało miejsce w tym przypadku.

3. OBIEKT I PRZEBIEG BADAŃ

Obiektem badań jest turbozespół o mocy 200 MW. Jest to jednostka bardzo często spotykana w polskim systemie energetycznym. Rys. 1 przedstawia dyskretyzację jego wirnika, w programie NLDW.

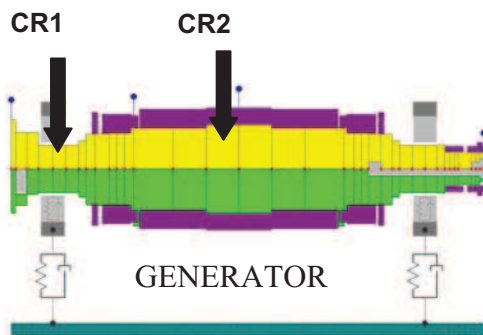


Rys. 1. Turbozespół o mocy 200 MW – dyskretyzacja wirnika

Rozważono dwa przypadki umiejscowienia pęknięcia w wirniku turbozespołu (Rys. 2):

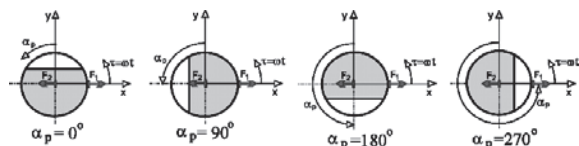
Pęknięcie 1 (CR1) umiejscowione w łożysku nr 6 (w węzle drgań poprzecznych)

Pęknięcie 2 (CR2) umiejscowione w pobliżu połowy długości wirnika generatora (w miejscu, w którym linia kinetostatyczna wirnika jest najbardziej ugięta – spodziewane duże sprzężenia drgań).



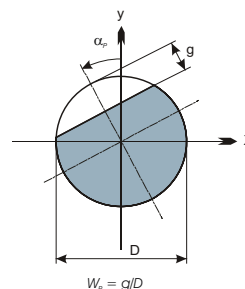
Rys. 2. Umiejscowienie rozważanych przypadków pęknięć

W każdym z tych miejsc rozważono po 4 przypadki obwodowego umiejscowienia pęknięcia, opisanego poprzez kąt α_p określający położenie pęknięcia w stosunku do osi pionowej y (Rys. 3)



Rys. 3. Obwodowe umiejscowienie pęknięcia

Głębokość pęknięcia jest określona przez współczynnik pęknięcia, zwany również względną głębokością pęknięcia W_p oznaczającą tutaj stosunek względnej głębokości pęknięcia do średnicy wału (Rys. 4).



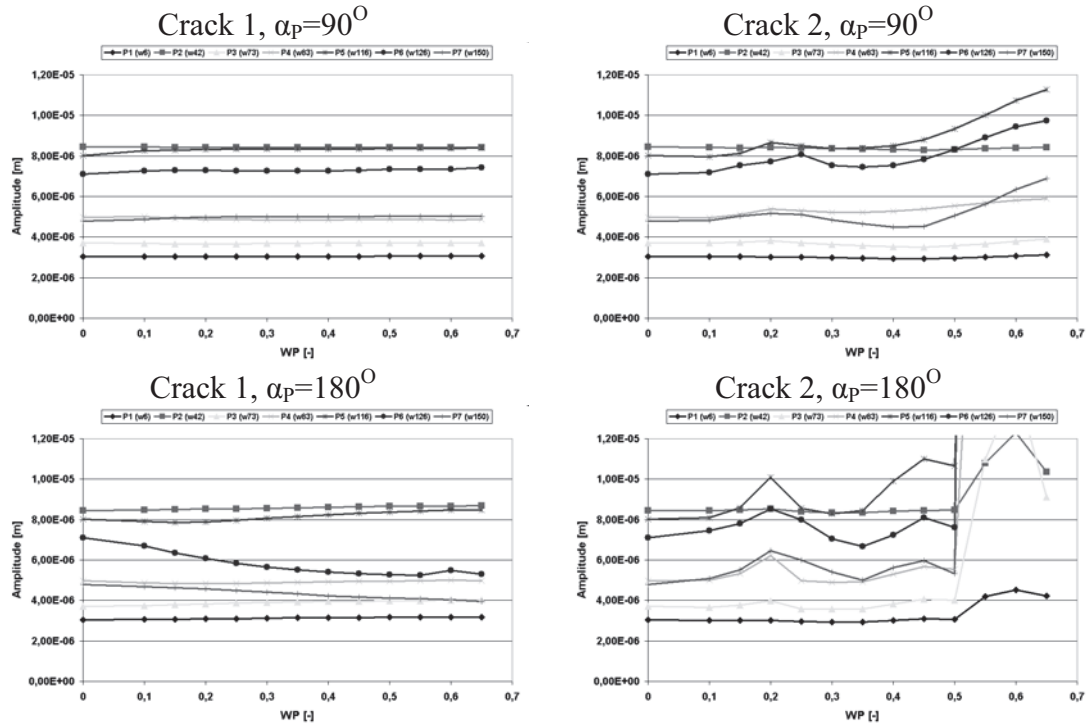
Rys. 4. Współczynnik głębokości pęknięcia W_p

Obliczenia prowadzono osobno dla obydwu rozważanych przypadków pęknięć.

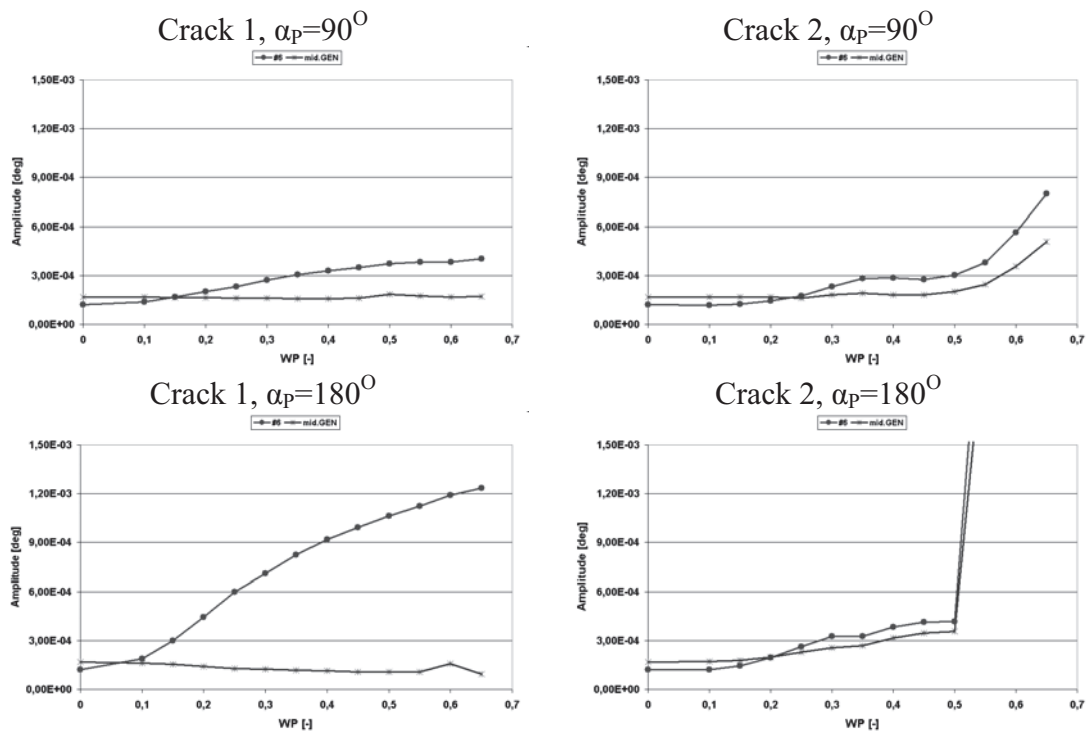
4. WYNIKI OBLICZEŃ

Rys. 5 przedstawia zmiany amplitud drgań bezwzględnych panwi spowodowane propagacją pęknięcia dla niektórych przypadków umiejscowienia pęknięcia. Porównano między sobą przypadki osiowego umiejscowienia pęknięcia (Pęknięcie 1 i 2) dla przypadku o stosunkowo bezpiecznym umiejscowieniu pęknięcia ($\alpha_p=90^\circ$) i niebezpiecznym ($\alpha_p=180^\circ$). Rys. 6 przedstawia zmiany amplitud drgań skrętnych wybranych węzłów przy propagacji pęknięcia w tych samych przypadkach. Zauważyć można, iż wpływ propagacji pęknięcia na stan dynamiczny tego typu maszyny jest niejednoznaczny. Zmiany amplitud są stosunkowo niewielkie. W pewnych zakresach głębokości pęknięcia drgania mogą, wbrew oczekiwaniom, maleć. Wyraźniejszego wzrostu amplitud drgań można się spodziewać dla dużych głębokości pęknięcia (tu powyżej 0.4) i to w tych przypadkach, w których, jak można mniemać, doszło do szczególnego przypadku sprzężenia kierunku pęknięcia z kierunkami wypadkowych wymuszeń zewnętrznych działających na wirnik. Takie zjawisko miało miejsce w przypadku Pęknięcie 2, $\alpha_p=180^\circ$, w którym najprawdopodobniej doszło do wzajemnego wzmocnienia efektów dynamicznych pochodzących od sił zewnętrznych i spowodowanych pęknięciem wirnika, co wywołało gwałtowny, nawet 30-krotny wzrost amplitud drgań.

Zjawiskiem wartym odnotowania jest ujawniony rezonans drgań wywołany pęknięciem (tu: dla Pęknięcia 2). Jest on widoczny w obrazie drgań poprzecznych dla wartości $W_p=0.2\div 0.25$ (rys. 5). Jest to bardzo istotne spostrzeżenie, pokazujące, iż układ wirnikowy, przy propagacji pęknięcia, może wpaść w rezonans. Warto się temu zjawisku przyjrzeć bliżej w przyszłości. Z wcześniejszych publikacji wiadomo bowiem, iż pęknięcie może obniżać częstotliwości rezonansowe układu.



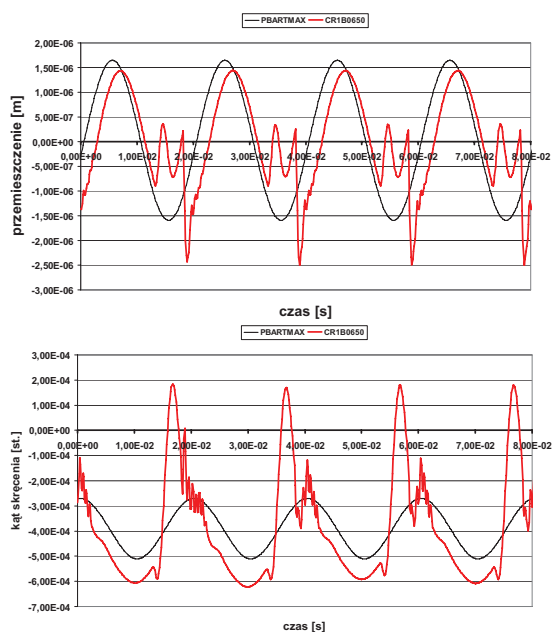
Rys. 5. Drgania bezwzględne panwi łożyska nr 6



Rys. 6. Drgania skrętne czopa łożyska nr 6

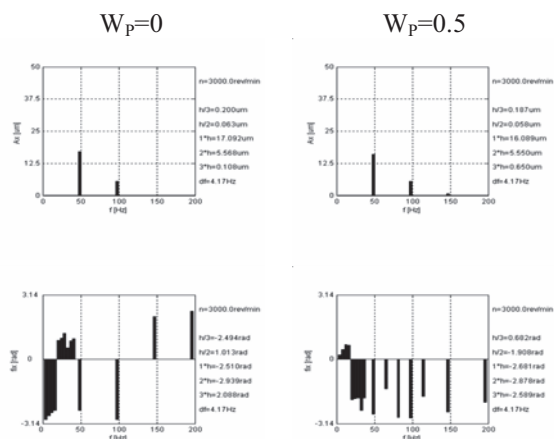
5. WYRÓŻNIK DIAGNOSTYCZNY

Biorąc pod uwagę całokształt obliczeń trzeba zauważyć, że – poza jednym, szczególnym przypadkiem umiejscowienia pęknięcia – wzrost amplitud drgań poprzecznych był stosunkowo niewielki, w pewnych przypadkach wręcz pomijalny. Oznacza to, że drgania poprzeczne nie mogą być wiarygodnym wyróżnikiem diagnostycznym pęknięcia wału. Ponieważ jednak od współczesnych systemów diagnostycznych wymaga się trafności identyfikacji także tego typu defektów, należy podjąć próbę znalezienia bardziej wiarygodnych wyróżników diagnostycznych. Niektórzy autorzy wskazują tu np. na drgania skrętne wału. Jak widać na rys. 6, są one bardziej wrażliwe na propagację pęknięcia, niż drgania poprzeczne. Dla poprawy pewności diagnozy warto również wykorzystać obserwacje sprzężeń drgań w różnych kierunkach (patrz rys. 7). Ograniczeniem są tu trudności techniczne związane z pomiarem drgań skrętnych obracającego się wału.



Rys. 7 Sprzężenie drgań wzdłużnych i skrętnych, Pęknięcie 1, $\alpha_p=90^\circ$

Zdaniem niektórych autorów obiecujące wydaje się zastosowanie do detekcji pęknięć analizy widm fazowych. Ilustruje to rys. 8, sporządzony dla drgań względnych czopa łożyska nr 6 w „bezpiecznym” przypadku (Pęknięcie 1, $\alpha_p=90^\circ$). Widać na nim, że w przeciwieństwie do niewielkich zmian w widmie amplitudowym, widma fazowe (poniżej) zmieniły się wyraźnie. Sugeruje to, iż więcej informacji diagnostycznej niosą właśnie widma fazowe. Analiza widm fazowych nie jest jeszcze powszechna. Jest to zagadnienie stosunkowo mało rozpoznane, zwłaszcza jeżeli chodzi o jego zastosowania diagnostyczne. Stąd celowe jest usystematyzowanie w dalszych pracach.



Rys. 8. Widma amplitudowe i fazowe drgań względnych czopa

6. PODSUMOWANIE

Podsumowując należy stwierdzić, że wpływ pęknięcia na stan dynamiczny dużej maszyny wirnikowej jest niejednoznaczny. Powoduje to trudności w określeniu wiarygodnego wyróżnika diagnostycznego. Ze względu na to, iż pęknięcie powoduje powstawanie wielokierunkowych sprzężeń drgań, celowe wydaje się prowadzenie analizy nie tylko drgań poprzecznych, ale także wzdłużnych, a zwłaszcza skrętnych (najbardziej czułych na propagację pęknięcia). Celowe wydaje się również prowadzenie analizy widm fazowych. Okazało się poza tym, iż pęknięcie wirnika jest w stanie spowodować rezonans układu wirnikowego. Zjawisko to wymaga dalszej analizy.

Dalsze prace powinny być zatem nakierowane na bliższe poznanie rezonansu w funkcji pęknięcia, jak również usystematyzowanie zagadnień analizy widm fazowych.

LITERATURA

- [1] J. Kiciński, A. Markiewicz-Kicińska, *Coupled nonlinear vibrations in multi-support rotors founded on slide bearing*, Proceedings of VETOMAC-1 Conference, Bangalore, INDIA, 2000, pos. CP 047
- [2] J.D. Yang, i inni *The complicated response of a simple rotor with a fatigue crack*, IFToMM Conference, Sydney, 2002
- [3] J. Kiciński, R. Drozdowski, P. Materny, *The nonlinear analysis of the effect of support construction properties on the dynamic properties of multi-support rotor systems*, Journal of Sound & Vibration (1997) 206(4), pp. 523-539.
- [4] J.F. Knott, *Fundamentals of fracture mechanics*, Butterworths, London, 1973.