

ENERGETIC MODES IN DESCRIPTION OF STRUCTURAL DEGRADATION OF CONSTRUCTIONAL MATERIALS

Henryk KAŻMIERCZAK, Tadeusz PAWŁOWSKI, Jacek KROMULSKI
 Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych
 60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31
 tel. 061.8712279, e-mail: kazmhenr@pimr.poznan.pl

Summary

This article presents results analysis of the structural degradation of technical materials samples. The results have been determined by the analysis of the distribution under dynamic load (a discrete model of structure dynamic load). The aim of this research is to describe the process of structural degradation of the basic technical materials. The structural changes of the constructional material samples subjected to impulsive loads have been measured. Information about the technical condition of the individual material samples have been obtained on the basis of the energy characteristics of power spectral density under degrading dynamic load. The results were presented in the form of power amplitude estimation of the dynamic stiffness forces and damping forces, changing with the ongoing samples degradation process.

Research conducted at the work station by the method of impulsive test helped to determine the initial load causing the damage in the material structure. Further analysis of the material structural changes allowed determining the limits of load, which will initiate the process of structural degradation (in. ex. cracking).

Keywords: degradation state, constructional material, structural changes, dynamic rigidity.

Streszczenie

MODY ENERGETYCZNE W OPISIE DEGRADACJI STRUKTURALNEJ MATERIAŁÓW KONSTRUKCYJNYCH

W artykule przedstawiono ideę badania wyężenia materiałów konstrukcyjnych energetyczną metodą wyznaczania widmowych charakterystyk, opisujących zmiany strukturalne obiektów mechanicznych. Wyężenie materiału definiowane jest jako ogół zmian charakterystyk strukturalnych występujących w materiale w wyniku poddania go zewnętrznym obciążeniom mechanicznym. Wyznaczono miary tych zmian przy zmiennych obciążeniach dynamicznych.

Synergizm różnych procesów (np. rodzaj i amplituda obciążeń, przestrzenna i czasowa charakterystyka tych obciążeń, procesy korozji i starzenia, własności wytrzymałościowe materiałów, itp.) stanowi o zmianach strukturalnych obiektu mechanicznego. Charakterystyki zmian parametrów strukturalnych materiałów wyznaczano poprzez moce sił tłumienia(tarcie wewnętrzne) i moce sił bezwładności i sił sztywności dynamicznej, oraz wyznaczanej na tej podstawie pracy sił powodujących degradację próbek materiałów. Gęstości widmowe mocy obciążeń degradacji strukturalnej materiałów konstrukcyjnych(część rzeczywista i część urojona) obliczano metodą eksperymentalnej analizy modalnej.

Badania właściwości wyężenia materiałów obejmują wyznaczenie widmowych charakterystyk energetycznych ścinania, skręcania i zgniatania oraz miar zmiany parametrów strukturalnych(miar tarcia wewnętrznego i sztywności dynamicznej)

Słowa kluczowe: stan degradacji, materiał konstrukcyjny, zmiany strukturalne, sztywność dynamiczna.

1. ENERGY CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL DEGRADATION OF A MECHANICAL OBJECT

The holistic model of machine load condition is described by the matrix of power spectral density of the dynamic load power in a mechanical system:

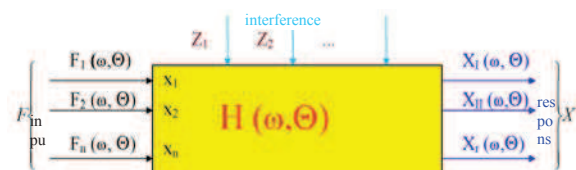


Fig. 1. Model of machine

$$N_{ik}(t, \Theta) = V_i(t, \Theta) \cdot F_k^{Tr}(t, \Theta) \quad (1)$$

$$\{G_{N_{ik}}(j\omega, \Theta)\} = \mathbf{H}_{V_{ik}}(j\omega, \Theta) \cdot \mathbf{G}_{F_k F_k}(j\omega, \Theta) \quad (2)$$

where: $\mathbf{H}_{V_{ik}}(j\omega, \Theta)$ – mobility matrix of machine,
 $\mathbf{G}_{F_k F_k}(j\omega, \Theta)$ – spectral density matrix of excitation forces.

$$H_{ik}(j\omega, D(r, \Theta)) = \begin{Bmatrix} H_{i1}[j\omega, D_{11}(\Theta)] & \dots & H_{in}[j\omega, D_{1n}(\Theta)] \\ H_{n1}[j\omega, D_{n1}(\Theta)] & \dots & H_{nn}[j\omega, D_{nn}(\Theta)] \end{Bmatrix} \quad (3)$$

The elements of the matrix of dynamic characteristics: are the functions of spatial degradation measure D of the mechanical system.

2. POWER CHARACTERISTICS OF THE STRUCTURAL DEGRADATION OF PRETENSIONED PRESTRESSED CONCRETE BEAMS

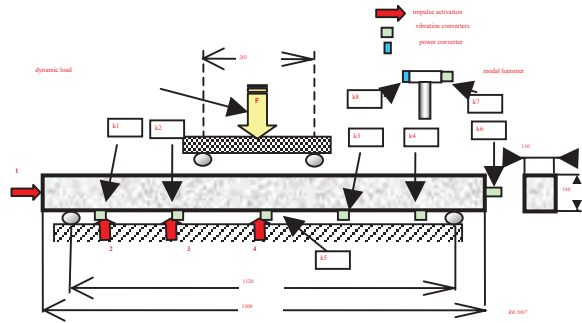


Fig. 2. Location of testing points of vibration acceleration and points subjected to forcing actions by a modal hammer

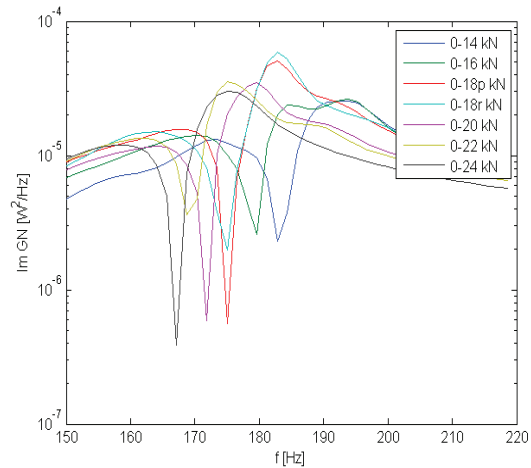
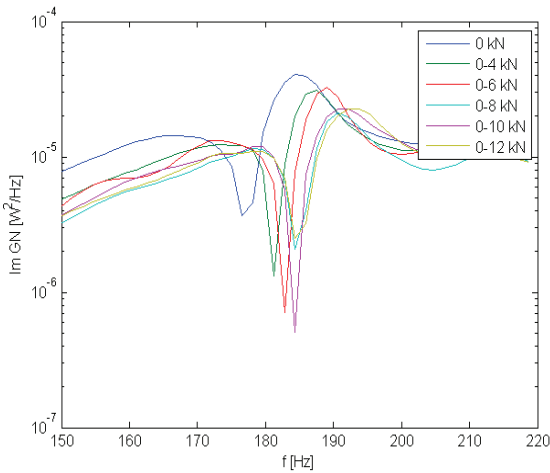


Fig. 3 Impulse loads power spectral density imaginary parts changes, describing object structural degradation (scope 150-220 Hz)

Technical degradation process of the sample resulted in either growth of mode frequency (greater rigidity) or a reduction of mode frequency. Relative change in dynamic rigidity of a mechanical object due to its structural degradation:

$$\frac{k_i - k_r}{k_i} \approx 1 - \frac{\omega_r^2}{\omega_i^2} \quad [\%] \quad (4)$$

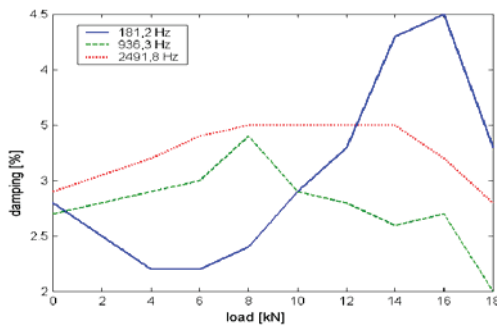


Fig. 4. Energetic modes damping changes resulting from beam degradation

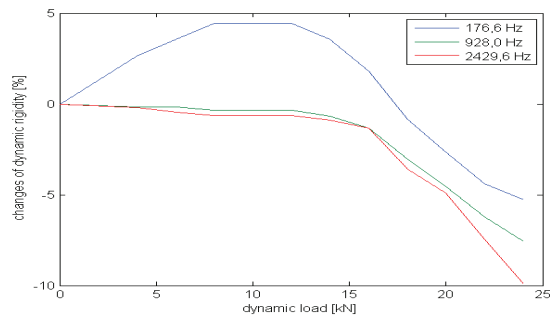


Fig. 5 The changes of dynamic rigidity of a pretensioned prestressed concrete beam as a result of a degrading dynamic load

3. STRUCTURAL DEGRADATION OF CONSTRUCTIONAL MATERIALS

Below are energetic characteristics of impulse loads causing structural degradation of a standard-dimension sample of constructional material. The key element of the test station was electric impact hammer (Fig. 6). Torsional moment of force was applied to samples of various constructional materials (e.g. steel, cast iron) of standard measurements.

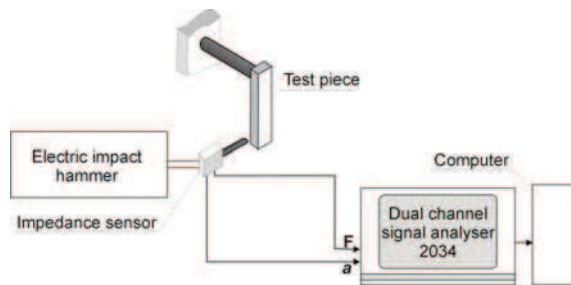


Fig. 6 The scheme of test stand to analyze dynamic degradation of constructional material samples

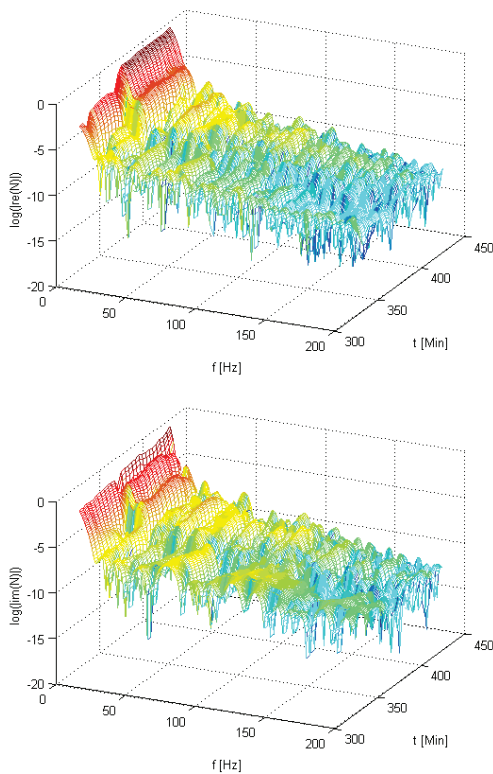


Fig. 7. The real (real changes) and imaginary parts (rigidity changes) of the power spectral density of the impulse loads power



Fig. 8. Crosssection of fatigue scrap

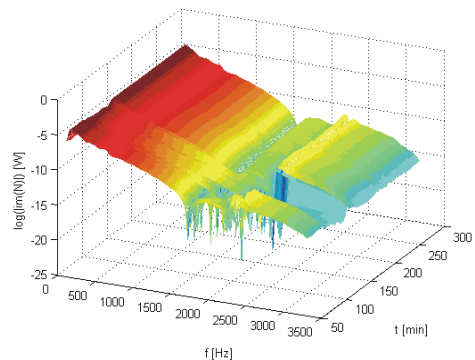
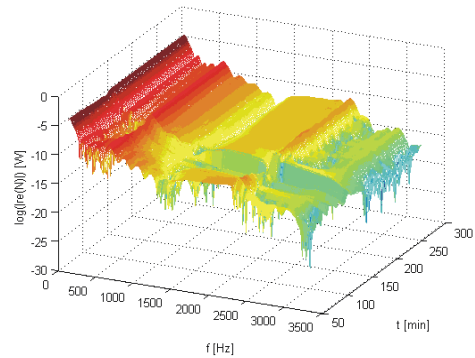


Fig. 9. The real (real changes) and imaginary parts (rigidity changes) of the power spectral density of the impulse loads power

High loads maxima characterised the process of sample cracking and breaking. The shift of characteristics extremes (Fig.7) and the occurrence of reduction (or growth) of minima frequency (anti-resonance) in energetic characteristics, serve as a confirmation of the degradation state of a mechanical object. Cracked samples are shown in Fig. 9.

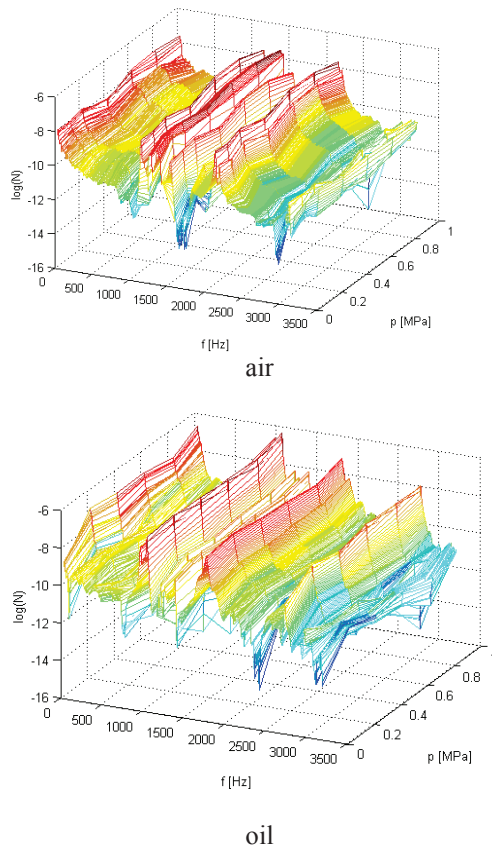


Fig. 10. Spectral characteristics of the power load $N(f, p)$

3. CONCLUSION

1. The processes determining the machine life characteristic and the measures of changes of its technical state have an energetic dimension. Therefore, one should use energetic methods in performing tests in the field of rigidity of mechanical objects.
2. In order to assess the dynamic condition of a machine, it is required to know dissipated power (real parts of dynamic load powers) and separate the powers of inertia forces and dynamic rigidity forces (imaginary parts of dynamic load powers). The method is applied in research into energy dissipation and structural changes in mechanical objects.
3. Information about the technical condition of an object can be obtained from energetic characteristics of power spectral density of dynamic load powers and amplitude estimates represented in the synthetic form for dynamic rigidity force powers and damping force powers, which change along the evolving process of their degradation. When analysing 3D diagrams of power spectral density for force powers in the function of frequency and the function of time, changes (maxima) in the run of these functions can be noticed.

REFERENCES

- [1] H. Kaźmierczak, *Analiza rozkładu mocy obciążeń dynamicznych w systemach mechanicznych*, Rozprawy Nr 363, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2001.
- [2] H. Kaźmierczak, *Dynamic load power distribution in mechanical systems*, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, Zeszyt 3(127), 127-141, ITE Radom 2003.
- [3] H. Kaźmierczak, *Badania trwałości zmęczeniowej maszyn metodą analizy rozkładu mocy obciążeń dynamicznych*, Diagnostyka vol.26, 133-142, 2002, PTDT przy Wydziale Nauk Technicznych PAN.
- [4] H. Kaźmierczak, *Energetic description of the destruction process of machine structural nodes*, Machine Dynamics Problem, Vol. 27, No 3, 113-123, Warszawa 2003
- [5] H. Kaźmierczak, *Analiza destrukcji maszyny metodą rozkładu mocy obciążeń dynamicznych*, DIAGNOSTICS'2004 3rd International Congress on Technical Diagnostics
- [6] H. Kaźmierczak, J. Kromulski, T. Pawłowski *Energetyczne charakterystyki degradacji przyczepy*, Diagnostyka vol.33, 2005, PTT. N.
- [7] H. Kaźmierczak, J. Kromulski, C. Cempel, R. Barczewski, *Energetic description of the destruction process of steel concrete structures*, COST Action 534 New Materials and Systems for Prestressed Concrete Structures, Workshop of COST on NTD Assessment and New Systems in Prestressed Concrete Structures, Radom 2005.



dr hab. **Henryk KAŹMIERCZAK prof. nadzw.** – absolwent Wydziału Mat. Fiz. Chem. Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, stopień doktora nauk technicznych uzyskał w 1977r. na Wydziale Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej. Stopień doktora habi-

litowanego nauk technicznych z dziedziny mechanika uzyskał w 2002r. na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Jest autorem ponad 250 publikacji naukowych. Zajmuje się zagadnieniami z dziedziny dynamiki maszyn, diagnostyki technicznej, identyfikacji własności dynamicznych maszyn, w tym metodami analizy modalnej. Ostatnie publikacje dotyczą energetycznego modelowania obciążeń w maszynach oraz zastosowania metody analizy rozkładu mocy obciążeń dynamicznych do badań procesów degradacji i trwałości maszyn. Jest członkiem krajowych i zagranicznych towarzystw naukowych.



Dr inż. **Tadeusz PAWŁOWSKI** – dyrektor Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych w Poznaniu. Absolwent Politechniki Poznańskiej, autor lub współautor ponad 80 prac naukowych z zakresu nowoczesnych metod analiz wytrzymałości konstrukcji, symulacyjnego szacowania

obciążeń dynamicznych konstrukcji nośnych, analizy funkcjonalnej maszyn i urządzeń, komputerowego wspomaganie projektowania (CAD) oraz projektowania napędów hydrostatycznych w maszynach rolniczych. Autor rozprawy pt. „Dynamika cienkościennych konstrukcji nośnych maszyn rolniczych z uwzględnieniem sił uogólnionych III rzędu.



Dr **Jacek KROMULSKI** jest adiunktem w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych. W działalności naukowej zajmuje się zagadnieniami dynamiki strukturalnej, modelowania, analizy modalnej oraz analizy sygnałów. Jest autorem ponad 80 prac

dotyczących tych zagadnień.