

**Marek SZKODO**  
Politechnika Gdańska

## **ZASTOSOWANIE METODY ANALIZY OBRAZU W OKREŚLANIU ODPORNOŚCI KAWITACYJNEJ MATERIAŁÓW**

### **Słowa kluczowe**

Analiza obrazu, obciążenia kawitacyjne, odkształcenia plastyczne powierzchni.

### **Streszczenie**

W pracy przedstawiono optyczną metodę określania właściwości kawitacyjnych materiału oraz charakterystyki kawitacyjnej stanowiska przy zastosowaniu komputerowej analizy obrazu erodowanej powierzchni uzyskanego w mikroskopie świetlnym. Ponieważ żadne ze stosowanych stanowisk do badań erozji kawitacyjnej materiałów nie zapewnia uzyskania stałego natężenia kawitacji na badanej powierzchni próbki, zaproponowano, aby wielkości charakteryzujące odporność kawitacyjną materiału wyznaczać na niewielkiej powierzchni o wymiarach około 4 mm<sup>2</sup>, co pozwoliło przyjąć, że materiał podlega na tej powierzchni kawitacji o stałym natężeniu.

### **Wprowadzenie**

Istniejące normy zalecają opieranie ocen odporności kawitacyjnej materiałów jedynie na porównaniu przebiegu krzywych erozji (ubytku objętości materiału w czasie) badanych tworzyw między sobą oraz z krzywą erozji materiału wzorcowego.

W literaturze [1] spotyka się stosowanie do oceny odporności kawitacyjnej materiałów wskaźników liczbowych wyznaczanych na podstawie krzywych erozyjnych takich jak: czas inkubacji – definiowany jako początkowy czas niszczenia, w którym ubytek objętości jest praktycznie niemierzalny, ubytek masowy  $\Delta m$  lub objętościowy  $\Delta V$  po określonym czasie ekspozycji, średnia głębokość wżerów po określonym czasie ekspozycji czy maksymalna prędkość erozji. Nie ma jednak powszechnej zgody co do tego, który ze wskaźników liczbowych powinien być miernikiem oceny materiału. Wadą powyższych wskaźników jest to, że wyznacza się je na podstawie całych krzywych erozyjnych, otrzymywanych w drodze żmudnych i pracochłonnych testów. W ostatnich latach pojawiły się próby przewidywania odporności kawitacyjnej materiałów na podstawie obserwacji ich zachowania się w okresie inkubacji [2–5]. Zaletą tych badań jest znacznie krótszy czas testowania materiałów, a przez to niższa pracochłonność i koszty badań.

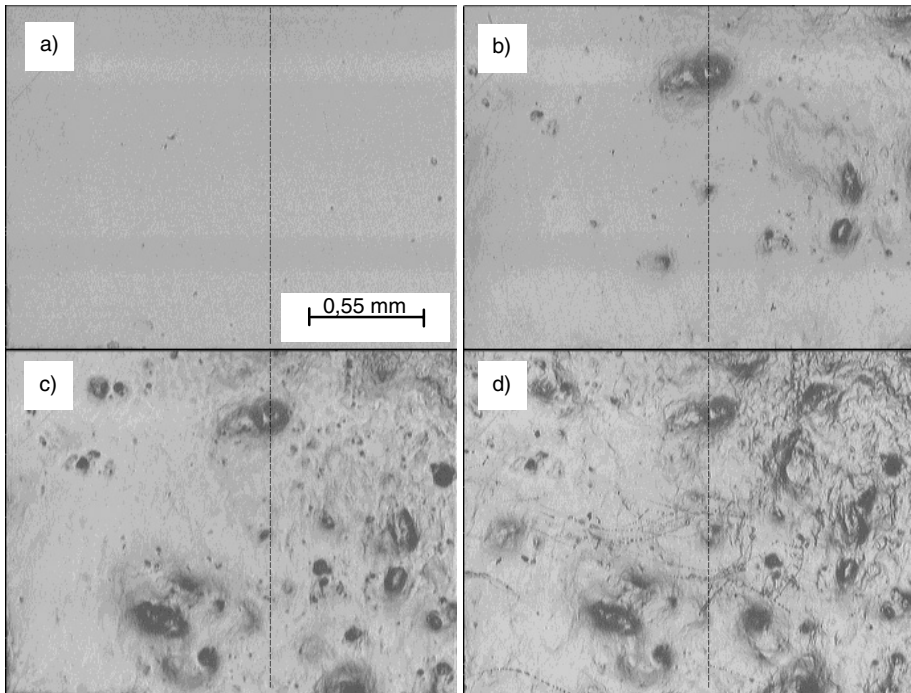
Celem pracy jest przedstawienie metody do oceny zachowania się materiału pod wpływem obciążeń kawitacyjnych we wstępnym okresie niszczenia.

## **1. Metoda analizy obrazu do określania zmian powierzchniowych wywołanych obciążeniami kawitacyjnymi**

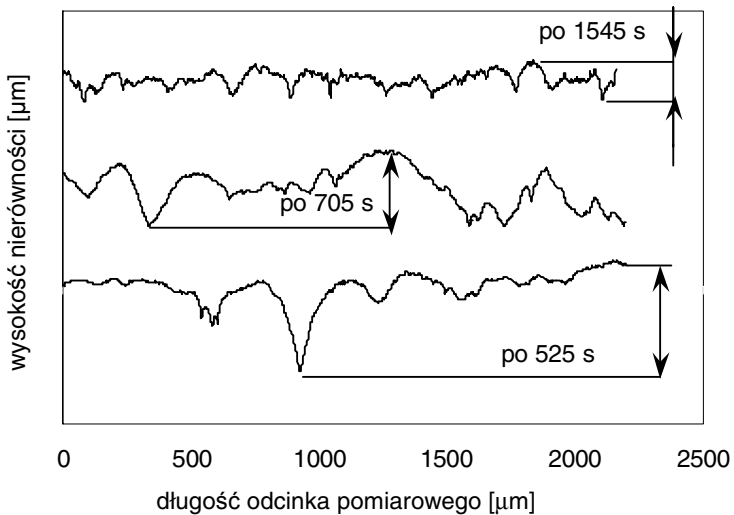
Na rys. 1 przedstawiono obrazy powierzchni próbki wykonanej ze stali X5CrNi18-10 w stanie wyjściowym, tj. po szlifowaniu i polerowaniu oraz po 2, 4 i 7,5 minutach działania obciążeń kawitacyjnych na stanowisku z wirującą tarczą. Zdjęcia wykonano na mikroskopie optycznym Neophot 32, sprzężonym poprzez kamerę monochromatyczną CCD (ICD-47E 600x800) z komputerem PC z zainstalowanym programem do analizy obrazu MultiScan. Takie obrazy określa się mianem monochromatycznych lub ośmiobitowych, ponieważ do zapamiętania każdego punktu obrazu potrzeba ośmiu bitów pamięci. Za pomocą ośmiu bitów można w systemie dwójkowym zapisać  $2^8$  odcieni szarości, a więc każdemu punktowi obrazu można przypisać jeden z 256 odcieni szarości. Ludzkie oko jest w stanie odróżnić nie więcej niż 70 stopni szarości, dlatego za pomocą ośmiu bitów przypadających na każdy punkt można zapisywać obrazy z wystarczająco dużą dokładnością [6]. Każdy punkt obrazu ośmiobitowego może przyjmować wartości od 0 – czarny do 255 – biały. Wszystkie pośrednie wartości są odcieniami szarości.

Jak wynika z rys. 1 obciążenia kawitacyjne powodują powstawanie na obrazie erodowanych powierzchni pojawianie się ciemniejszych obszarów. Badania chropowatości powierzchni wykazały, że zmiany obrazu zostały spowodowane pojawianiem się odkształceń plastycznych (rys. 2). Zgodnie z teorią Abbego z 1879 r. obraz w mikroskopie świetlnym powstaje na skutek interferencji wiązki światła ugiętej na badanej powierzchni z wiązką nieugiętą. Obszary ciemniejsze na obrazach erodowanych powierzchni są więc powierzchnią plastycznie odkształconą,



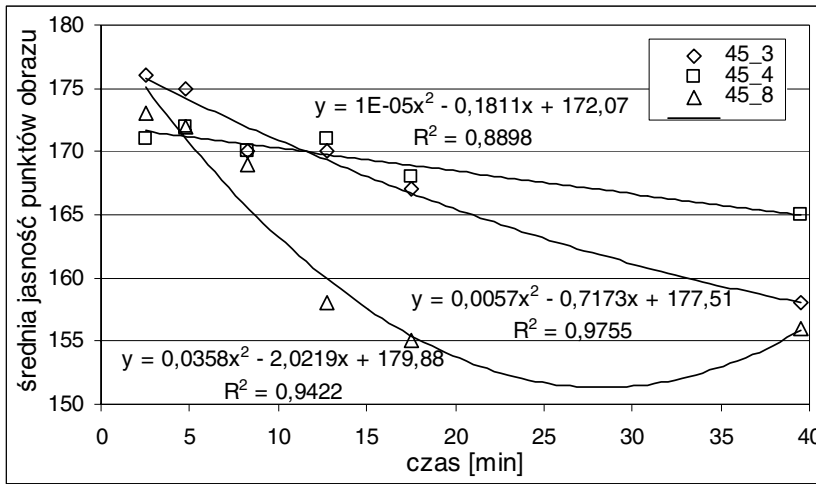


Rys. 1. Powierzchnia próbki po szlifowaniu i polerowaniu (a) oraz po 2 min (b), 4 min (c), i 7,5 min (d) działania obciążeń kawitacyjnych. Na obrazach linią przerywaną zaznaczono odcinki, wzdłuż których analizowano jasność punktów



Rys. 2. Profile powierzchni po 525, 705 i 1545 sekundach działania obciążeń kawitacyjnych



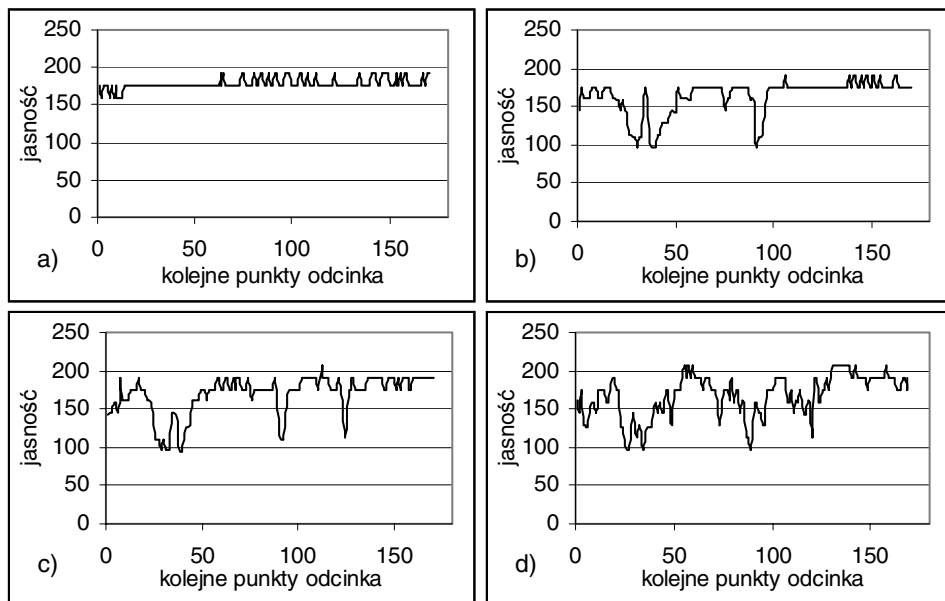


Rys. 3. Zmiany refleksyjności powierzchni, wyrażone średnią arytmetyczną wszystkich punktów obrazu w funkcji czasu działania obciążeń kawitacyjnych

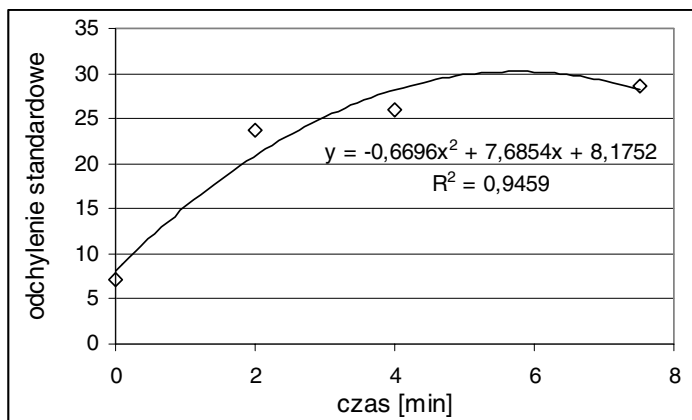
na której nastąpiło większe rozproszenie światła. Jak podano wyżej, obraz monochromatyczny składa się z punktów o jasności z przedziału  $\langle 0; 255 \rangle$ . Na skutek działania obciążeń kawitacyjnych pojawiają się na powierzchni odkształcenia plastyczne, co skutkuje zwiększeniem w obrazie ilości punktów o niższej wartości z podanego przedziału (ciemniejszych). Średnia jasność wszystkich punktów w obrazie jest więc funkcją czasu działania obciążeń kawitacyjnych. Na rys. 3 przedstawiono zmiany średniej arytmetycznej jasności wszystkich punktów obrazu w funkcji czasu działania obciążeń kawitacyjnych dla próbek ze stali 45 laserowo stopowanej różnymi kompozycjami proszków. Próbkę oznaczona symbolem 45-3 była stopowana proszkami Ni, Co i Mo, 45-4 Cr, Co i Mo, a próbkę 45-8 stopowano Ni, Mn, Nb, Ti i Al. Jak wynika z rys. 3, na podstawie analizy zmian refleksyjności erodowanej powierzchni można oceniać odporność na odkształcenia plastyczne badanego materiału pod wpływem obciążeń kawitacyjnych. Dodatkowo porównując przebiegi zmian refleksyjności materiału wzorcowego można oceniać natężenie kawitacji i charakterystykę stanowiska badawczego.

## 2. Metoda analizy obrazu do określania lokalnych liniowych zmian wywołanych obciążeniami kawitacyjnymi

Podobne badanie zmian spowodowanych erozją kawitacyjną można wykonać, przeprowadzając analizę jasności punktów wybranego odcinka leżącego na badanej powierzchni. Na rys. 4 przedstawiono profile jasności odcinków zaznaczonych liniami przerywanymi na rys. 1. Odwrotnie niż w przypadku pomiaru

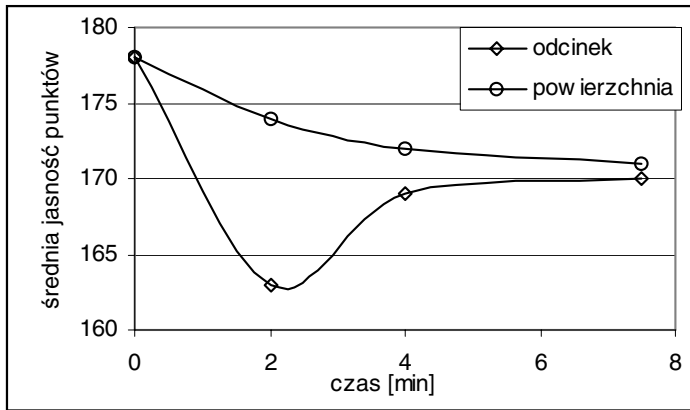


Rys. 4. Profile jasności dla odcinków zaznaczonych na rys. 1. Po szlifowaniu i polerowaniu (a), po 2 min (b), po 4 min (c) i 7,5 min działania kawitacji (d)



Rys. 5. Zmiany odchylenia standardowego profilu jasności punktów z rys. 4 w funkcji czasu działania obciążeń kawitacyjnych

profilu nierówności powierzchni (rys. 2), przedział zmienności otrzymanych wyników zwiększa się w miarę upływu czasu oddziaływania obciążeń kawitacyjnych (rys. 4). Zmiany odchylenia standardowego mogą być analizowane w funkcji czasu działania obciążeń kawitacyjnych, podobnie jak przebieg



Rys. 6. Zmiany średniej jasności punktów tworzących obraz erodowanej powierzchni oraz średniej jasności punktów odcinka leżącego na tej powierzchni

zmian średniej jasności wszystkich punktów, z których złożony jest obraz. Na rys. 5 przedstawiono zmiany odchylenia standardowego wyników z rys. 4. Przebieg zmian we wstępnym etapie niszczenia powierzchni jest również monotoniczny podobnie jak przebieg zmian średniej jasności wszystkich punktów tworzących obraz. Jednak analizując przebieg w czasie średniej jasności punktów dla całej powierzchni oraz średnią jasność punktów odcinka należącego do tej powierzchni, można dostrzec istotne różnice. A mianowicie, średnia jasność punktów dla całej powierzchni maleje z upływem czasu działania obciążeń kawitacyjnych, natomiast przebieg zmian średniej jasności punktów analizowanego odcinka nie jest monotoniczny (rys. 6). W pierwszym etapie erozji średnia jasność punktów odcinka znacznie bardziej maleje, a następnie wzrasta, co świadczy o znacznych zmianach odkształcenia plastycznego tego fragmentu powierzchni, na której leży analizowany odcinek. Do śledzenia lokalnych odkształceń przydatniejsza jest więc analiza liniowa punktów obrazu.

### Podsumowanie

W pracy przedstawiono metodykę wyznaczania zmian odkształceń plastycznych erodowanej powierzchni, a także natężenia kawitacji, przy zastosowaniu komputerowych metod analizy obrazów monochromatycznych otrzymanych na mikroskopie świetlnym. Wyznaczanie odkształceń plastycznych powierzchni odbywa się w krótkim pierwszym etapie niszczenia kawitacyjnego, tj. w okresie inkubacji. Taka metoda wyznaczania własności kawitacyjnych materiału oraz charakterystyki kawitacyjnej stanowiska pozwala na uniknięcie długotrwałych i kosztownych badań i wyznaczania pełnych krzywych erozcyj-



nych. Metoda ta również umożliwia wyznaczanie własności kawitacyjnych materiałów dla różnych rodzajów stanowisk laboratoryjnych, różniących się często parametrami konstrukcyjnymi i eksploatacyjnymi, ale również sposobem wywoływania zjawiska, jego cechami strukturalnymi (rodzaje kawitacji) i dynamicznymi (intensywność oddziaływania na erodowaną powierzchnię).

### **Bibliografia**

1. Reymann Z., Steller K.: Ocena odporności materiałów na działanie kawitacji przepływowej. Prace IMP PAN w Gdańsku 1978, z. 76, 95–125.
2. Szkodo M.: Korelacja pomiędzy pracą odkształcania plastycznego powierzchni a odpornością kawitacyjną materiałów. Materiały i Technologie 2003, nr 1 (1), 195–198.
3. Simoneau R.: Cavitation pit counting and steady-state erosion rate. W: Proc. of International Symposium on Cavitation, CAV'95, may 1995, Deauville, France, 265–275.
4. Dorey J. M., Le Q., Tura F.: A new test procedure using paint and polished samples to quantify cavitation aggressivity on industrial components. W: Proc. of ASME Cavitation 91, Portland, Oregon, USA, 1991.
5. Simoneau R., Bourdon P., Farhat M., Avellan F., Dorey J. M.: Cavitation erosion, impact intensity and pit size distribution of jet and vortex cavitation. W: Proc. of Bubble Noise and Cavitation Erosion in Fluid Systems. ASME annual winter meeting, New Orleans, USA 1993.
6. Wojnar L., Majorek M.: Komputerowa analiza obrazu. Computer Scanning Systems Sp. z o.o., Warszawa 1994.

Recenzent:

**Marian WIWART**

### **Image analysis to define cavitation properties of eroded materials**

#### **Summary**

In the work is presented the method of quantifying of the cavitation damage of the material by using image analysis of eroded surface in the initial stage of erosion. Cavitation properties of investigated material were calculated on the surface of 4 mm<sup>2</sup>, on which cavitation intensity was constant.

