

Kazimierz WITASZEK, Mirosław WITASZEK

ZASTOSOWANIE SIECI NEURONOWEJ DO OCENY ZUŻYCIA ELEMENTÓW Z ŻELIWA SFEROIDALNEGO

Streszczenie. W ramach pracy przeprowadzono badania zużycia żeliwa sferoidalnego w układzie trzpień – tarcza. Wyniki tych badań posłużyły jako dane wejściowe w procesie nauki sztucznej sieci neuronowej. W wyniku tego procesu otrzymano wytrenowaną sieć neuronową, która pozwala na prognozowanie zużycia elementów wykonanych z żeliwa sferoidalnego.

USE OF NEURAL NETWORKS AS A TOOL FOR WEAR ASSESSMENT OF SPHEROIDAL GRAPHITE CAST IRON ELEMENTS

Summary. In this work wear tests of spheroidal graphite cast iron have been carried out. A pin on disk machine was used. Tests' results were used as input data for learning process of an artificial neural network. Result of this process was trained neural network, that can predict the wear of elements made of spheroidal graphite cast iron.

1. WPROWADZENIE

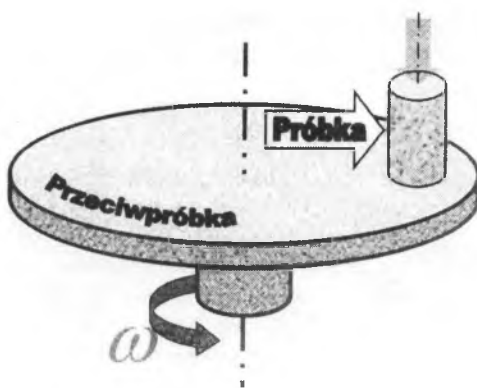
Żeliwo sferoidalne jest stosunkowo nowym rodzajem materiału [1, 2]. W ostatnim ćwierćwieczu przestało ono być ciekawostką laboratoryjną i stało się materiałem konstrukcyjnym znajdującym coraz szersze zastosowanie. Od połowy lat siedemdziesiątych największe koncerny samochodowe, takie jak General Motors, BMW, Renault czy Fiat, stosowały żeliwo sferoidalne do seryjnej produkcji części pojazdów. W ostatnich latach żeliwo sferoidalne zastępuje zarówno żeliwo szare, zwykle, jak i stal w niektórych zastosowaniach [1, 3]. Obecnie wykorzystuje się je w przemyśle motoryzacyjnym, rolniczym, zbrojeniowym, kolejowym i in. [3, 4]. Przykładami zastosowań mogą być: koła zębate, wały korbowe, wałki krzywkowe, tuleje cylindrów silników spalinowych, pierścienie tłokowe [1, 4]. Części te podlegają zużyciu. Stąd istotnym kryterium doboru żeliwa sferoidalnego do konkretnego zastosowania jest jego zachowanie się w warunkach pracy wywołujących zużycie.

W ramach pracy przeprowadzono badania zużycia żeliwa sferoidalnego o różnych własnościach i strukturach. W badaniach zmieniano warunki pracy, takie jak nacisk, obecność środka smarnego i droga tarcia.

2. BADANIA WŁASNE

Badania własne przeprowadzono na testerze trybologicznym typu T-01M. Pracuje on w układzie trzpień – tarcza. Schemat układu badawczego przedstawiono na rysunku 1.

Jako próbkę zastosowano trzpień o średnicy 8 mm wykonany z badanego żeliwa sferoidalnego typu GH 90-52-05 (według normy Fiat 52215). Próbkę tę poddano hartowaniu i odpuszczaniu uzyskując twardości 37 – 52 HRC. W celu uzyskania nacisków rzędu od kilkudziesięciu do kilkuset megapaskali końcówkę trzpienia zwężono do średnicy 3 mm oraz jej zakończeniu nadano kształt kulisty. Przeciwpóbkę w formie pierścienia o średnicy zewnętrznej 47 mm wykonano również z żeliwa sferoidalnego o twardości 60 HRC. Wygląd próbki i przeciwpóbkę przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Schemat układu trzpień – tarcza
Fig. 1. Scheme of pin on disk system

Klasyczną metodą pomiaru zużycia próbki na stanowisku T-01M jest określanie ubytku masy poprzez ważenie. Dodatkowo można stosować czujnik przemieszczenia, który dostarcza informacji o łącznym zużyciu liniowym próbki i przeciwpóbkę. Jego wskazania zakłóca niestety rozszerzalność temperaturowa układu badawczego. W omawianym przypadku metody te są jednak zbyt mało dokładne. Opracowano więc optyczną metodę pomiaru zużycia [5]. Polega ona na pomiarze pola śladu współpracy. Dokonuje się go za pomocą czarno-białej kamery telewizyjnej przemysłowej podłączonej do komputera za pośrednictwem karty wideo. Ruchoma konstrukcja ramienia, w którym mocowana jest próbka, umożliwia wykonanie zdjęć śladu współpracy bez demontażu próbki ze stanowiska, co zmniejsza pracochłonność badań.

Do wyznaczania zużycia został opracowany specjalny program komputerowy obliczający powierzchnię śladu zużycia na podstawie odpowiednio przygotowanych plików zawierających

obrazy śladu zużycia. Zakładając, że ślad zużycia jest kołem, a końcówka próbki półkulą (rys. 3), zużycie liniowe próbki oblicza się ze wzoru:

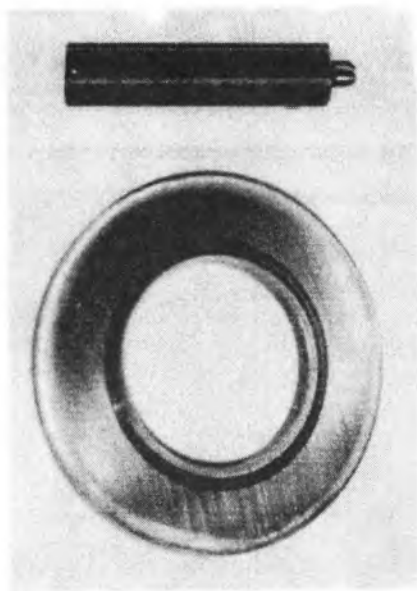
$$Z_{Lin} = H = R - \sqrt{R^2 - r^2}, \quad (1)$$

gdzie: Z_{Lin} – zużycie liniowe, R – promień zakończenia próbki, $r = \sqrt{S/\pi}$ – promień śladu zużycia, S – pole powierzchni śladu zużycia.

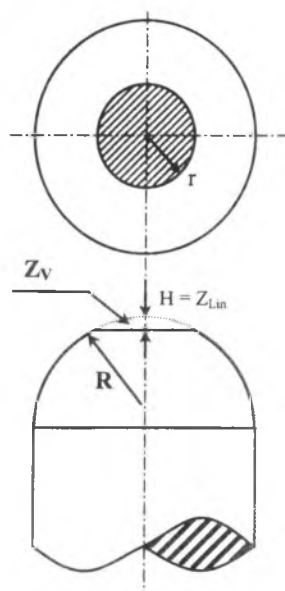
Zużycie objętościowe obliczano ze wzoru:

$$Z_{Obj} = \frac{1}{3} \pi H^2 (3R - H). \quad (2)$$

Przykładowe zdjęcia śladów zużycia próbek przedstawiono na rysunku 4.



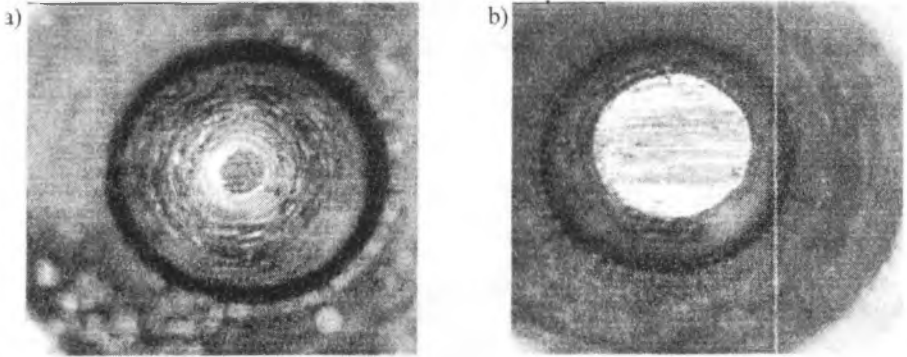
Rys. 2. Wygląd próbki i przeciwpróbki
Fig. 2. Appearance of specimen and counter-specimen



Rys. 3. Obliczanie zużycia próbki
Fig. 3. Calculation of wear

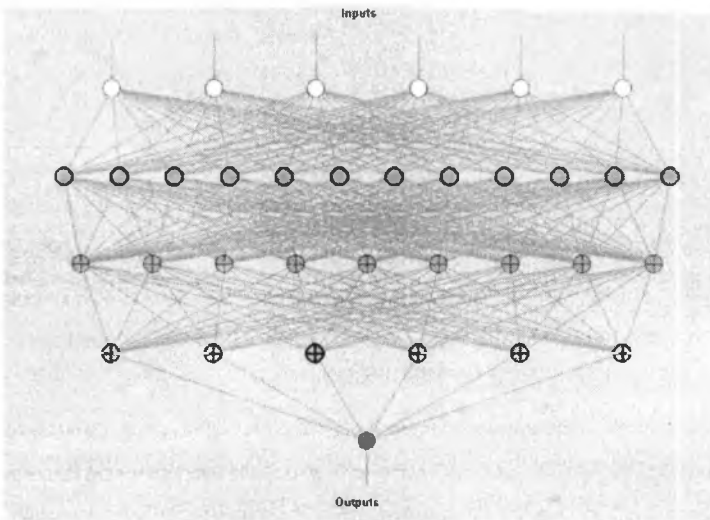
3. PROGNOZOWANIE ZUŻYCIA ZA POMOCĄ SIECI NEURONOWYCH

Wyniki badań pozwalają na prognozowanie zużycia elementów wykonanych z żeliwa sferoidalnego [6]. Do tego celu można użyć sztucznych sieci neuronowych. Sieć neuronowa jest systemem dokonującym określonych obliczeń na zasadzie równoczesnej pracy wielu połączonych ze sobą elementów zwanych neuronami [7].



Rys. 4. Zdjęcia śladów zużycia: a) badania w oleju, b) badania na sucho
 Fig. 4. Photographs of wear paths: a) tests with lubricant, b) dry tests

W skład struktury sieci neuronowych wchodzi trzy rodzaje warstw (wejściowa, wyjściowa i warstwy ukryte). Utworzenie struktury sieci neuronowej uzależnione było od liczby analizowanych parametrów. Natomiast ostateczna postać siatki neuronów powstała w wyniku przeprowadzonych testów. Zapewnia najlepszą charakterystykę pracy sieci i płynny proces nauki. Strukturę sieci neuronowej przedstawia rysunek 5.

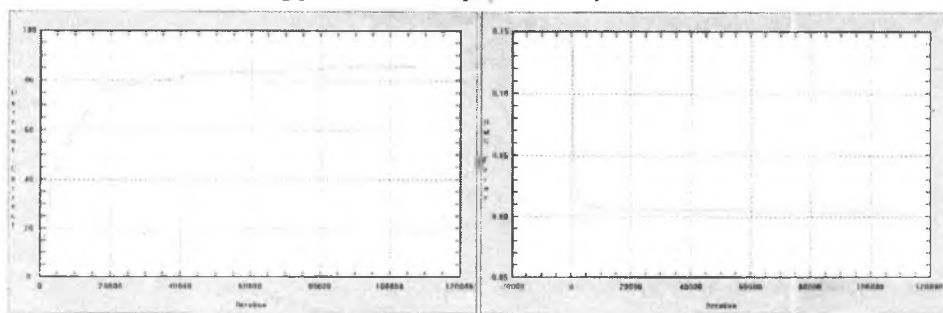


Rys. 5. Struktura użytej sieci neuronowej
 Fig. 5. The structure of used neural network

Sieć otrzymuje dane poprzez warstwę wejściową składającą się z sześciu neuronów – liczba neuronów jest ściśle zdeterminowana liczbą danych wejściowych. Każdy neuron odpowiada za

inny parametr. Dane wejściowe obejmowały dwie grupy czynników – materiałowe (twardość, średnica wydzielen grafitu sferoidalnego, ich ilość i udział powierzchniowy) oraz eksploatacyjne (droga tarcia i nacisk). Zasadnicze znaczenie w pracy sieci mają warstwy ukryte. W opisywanym przypadku zastosowano trzy warstwy ukryte. Pierwszą warstwę ukrytą tworzy 12 neuronów o wyjściowej funkcji Gaussa. Druga warstwa ukryta składa się z dziewięciu neuronów, których funkcją wyjściową jest tangens hiperboliczny. Trzecia warstwa ukryta to 6 neuronów z funkcją wyjścia secans hiperboliczny. Wielkość obliczonego zużycia objętościowego pojawia się na wyjściu neuronu, będącego warstwą wyjściową. Jako funkcje warstwy wyjściowej dobrano funkcję sigmoid, która jest liniową reprezentacją skoku jednostkowego.

Dopasowanie poszczególnych funkcji na wyjściach neuronów w opisanym konfiguracji pozwoliło na przyspieszenie nauki sieci oraz umożliwiło realizację zadania w podanych granicach tolerancji. Przebieg procesu uczenia przedstawia rysunek 6.



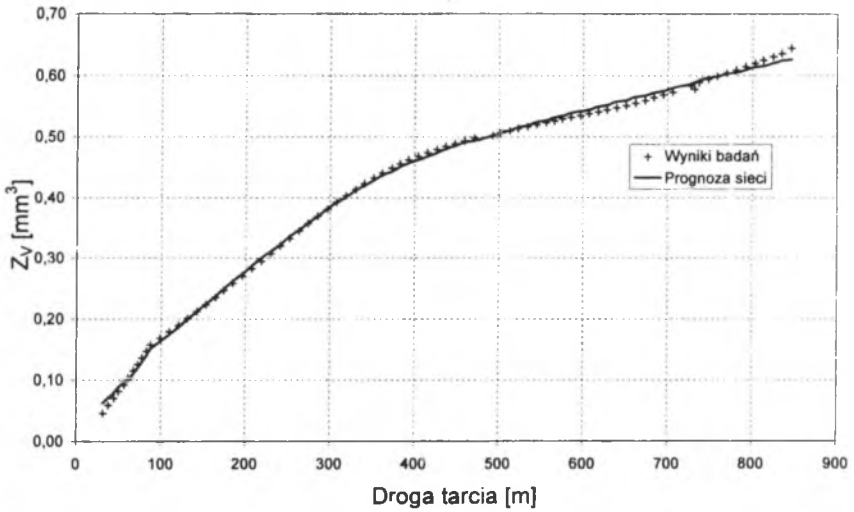
Rys. 6. Przebieg procesu nauki sieci: a) dokładność, b) średni błąd

Fig. 6. Learning process of the network: a) percent correct, b) RMS error

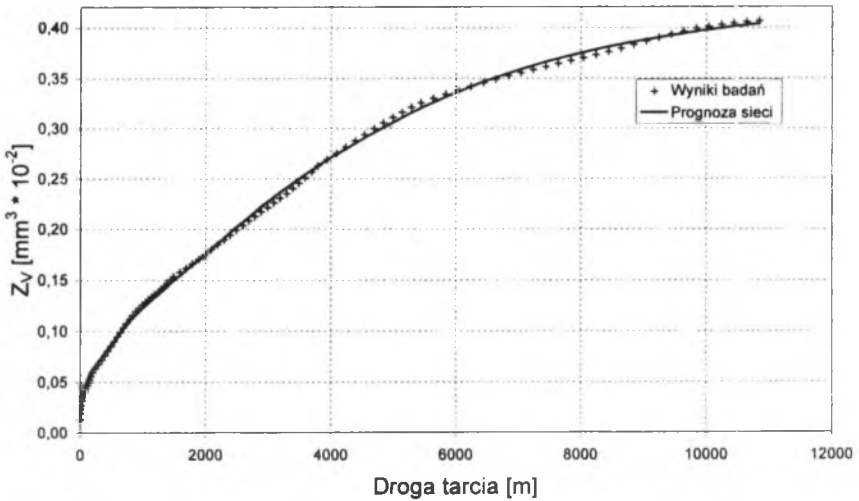
Proces uczenia sieci był prowadzony do chwili osiągnięcia średniego błędu na poziomie poniżej 0,5%. Po zakończeniu uczenia sieć była poddana egzaminowi. Przykładowe prognozy sieci zestawione z wynikami badań ukazują rysunki 7 i 8. Wynika z nich, że prognozy sieci neuronowej dobrze odwzorowują rzeczywisty przebieg procesu zużycia.

4. UWAGI KOŃCOWE

Sztuczne sieci neuronowe stanowią nowe i atrakcyjne narzędzie informatyczne, które może służyć do wspomagania procesu prognozowania zużycia żeliwa sferoidalnego na podstawie wybranych cech materiału oraz parametrów eksploatacyjnych. Ich zalety polegają na możliwościach równoległego rejestrowania i przetwarzania danych w procesie uczenia bez

$Z_V = f(L)$ - próbka 37 [HRC]

Rys. 7. Porównanie prognoz sieci z danymi doświadczalnymi przy tarcii
 Fig. 7. Comparison of network wear prognosis and dry friction tests' results

 $Z_V = f(L)$ - próbka 37 [HRC]

Rys. 8. Porównanie prognoz sieci z danymi doświadczalnymi przy tarcii ze smarowaniem
 Fig. 8. Comparison of network wear prognosis and wear tests' results (with lubricant)

konieczności programowania. Powstała w wyniku badań sieć neuronowa potrafiła w sposób zadowalający przewidzieć przebieg zużycia żeliwa sferoidalnego w oparciu o jego twardość i parametry struktury charakteryzujące wydzielenia grafitu sferoidalnego, tj. ich średnice, ilość i udział powierzchniowy oraz warunki pracy, takie jak droga tarcia i nacisk. Sieć pozwala również uwzględnić wpływ rodzaju tarcia (na sucho czy ze smarowaniem olejem) na wielkość zużycia. Charakter uzyskanych zależności zużycia od drogi tarcia jest zbliżony zarówno dla przypadków współpracy na sucho, jak i ze smarowaniem. Zastosowanie smarowania pozwala na znaczne ograniczenie zużycia o co najmniej dwa rzędy wielkości. Wadą zastosowania sieci neuronowej do oceny zużycia jest długi czas jej uczenia się wynoszący kilkanaście godzin na komputerze klasy Pentium II – 300 MHz. Czas ten można jednak ograniczyć poprzez zastosowanie szybszych komputerów bądź bardziej zoptymalizowanych programów symulujących pracę sieci neuronowych.

Literatura

1. Islam M.A., Haseeb A.S.M.A., Kurny A.S.W.: Study of wear of as-cast and heat-treated spheroidal graphite cast iron under dry sliding conditions. *Wear*, 188 (1995), s. 61-65.
2. Magalhaes L., Seabra J., Sa C.: Experimental observations of contact fatigue crack mechanisms for austempered ductile iron (ADI) discs. *Wear*, 246 (2000), s. 134 - 148.
3. Haseeb A.S.M.A., Islam A.M., Bepari M.M.A.: Tribological behaviour of quenched and tempered, and austempered ductile iron at the same hardness level. *Wear*, 244 (2000), s. 15-19.
4. Mahdalavi H., Boutorabi S.M.A., Salehi M.: Dry sliding wear of austempered ductile iron. Heat Treatment and Surface engineering, IFHT'95, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, 09.1995, s. 611-620.
5. Witaszek K.: „Metodyka badania zużycia żeliwa sferoidalnego na stanowisku T-01M.”, Międzynarodowa Studencka Sesja Naukowa: Materiały i Technologie XXI wieku, Katowice 10.05.2001.
6. Witaszek K., Stanik Z., Witaszek M.: „Prognozowanie zużycia elementów z żeliwa sferoidalnego”, VIII Seminarium Naukowe: Nowe Technologie i Materiały w Metalurgii i Inżynierii Materiałowej, Katowice 11.05.2001.

7. Tadeusiewicz R.: Elementarne wprowadzenie do techniki sieci neuronowych z przykładowymi programami. Akademicka Oficyna Wydawnicza, PLJ, Warszawa 1998.

Recenzent: Dr hab.inż. Edmund Tasak, prof. AGH

Abstract

Artificial neural networks are new and attractive informatic tools, which can be used for solving wide range of scientific problems. In this work neural networks have been used for prediction of wear of spheroidal graphite cast iron. The network with three hidden layers has been used. As input data 6 parameters of iron structure and working conditions have been taken. The network can predict properly the wear of specimens.

Praca wykonana w ramach badań własnych BW-429/RM10/2001