

Wykorzystanie pola magnetycznego do badania stanu powłok ochronnych

Streszczenie. W pracy przedstawiono zagadnienia, dotyczące pomiaru grubości warstw wierzchnich, przeprowadzane z wykorzystaniem przetworników indukcyjnościowych. Opisano badania, dotyczące przetwornika indukcyjnościowego transformatorowego, który będzie w stanie wykryć grubość warstwy wierzchniej w badanych powłokach ochronnych. Dla wybranych rodzajów sygnałów przeprowadzono szereg pomiarów grubości warstw przewodzących nieferromagnetycznych oraz warstw nieprzewodzących lakierniczych dobierając częstotliwość sygnału pomiarowego. Do kontroli grubości badanych warstw wykorzystano przyrządy pomiarowe firmy Fisher.

Abstract. The paper presents issues related to thickness measurement of surface layers, carried out with the use of inductive transducers. Research has been described regarding a transformer inductive transformer that will be able to detect the thickness of the surface layer in the tested protective coatings. For selected types of signals, a number of measurements of the thickness of non-ferromagnetic conducting layers and non-conductive layers were carried out, choosing the frequency of the measurement signal. Fisher's measuring instruments were used to control the thickness of the tested layers. (**The use of a magnetic field to study the condition of protective coatings**)

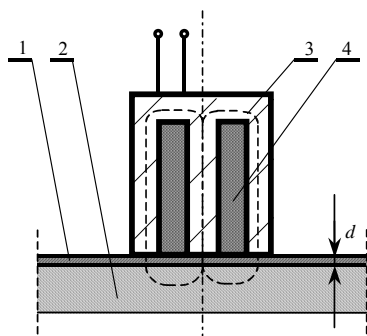
Słowa kluczowe: czujnik indukcyjny, parametry sygnału pomiarowego, powłoki ochronne
Keywords: inductive sensor, measurement signal parameters, protective coatings.

Wstęp

Metalowe elementy konstrukcji lub maszyn ze względu na procesy korozyjne podlegają ochronie poprzez zastosowanie skutecznych powłok ochronnych. Aby spełniały one wymagane założenia konstrukcyjne i wytrzymałościowe muszą sprostać odpowiednim wymogom np. w zakresie grubości, wyglądu zewnętrznego, chropowatości czy odporności na szkodliwe czynniki zewnętrzne [1, 2].

Ponieważ w trakcie eksploatacji grubość warstwy ochronnej znajdującej się na konstrukcjach i częściach maszyn, pod wpływem szkodliwego oddziaływania środowiskowych czynników korozyjnych podlega zmniejszeniu bądź uszkodzeniu, należy wykonywać okresowo ich oględziny i badania [3].

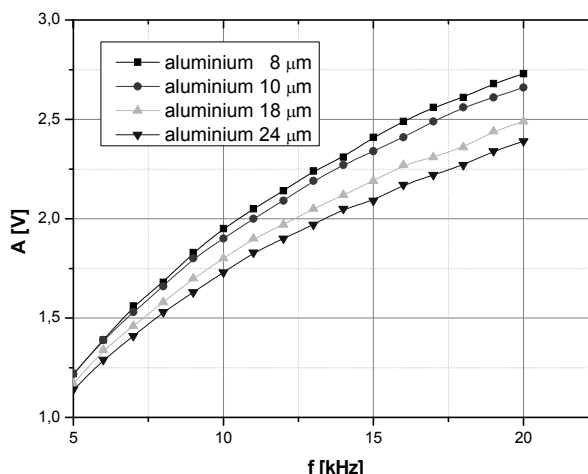
Najczęściej stosuje się powłoki ochronne cynkowe ze względu na najlepsze właściwości w stosunku do powłok stalowych lub żelaznych. Zapewniają najlepszą ochronę ze względu na właściwości ochronne, grubość warstwy zabezpieczającej jak i koszty zastosowania. Powłoki cynkowe najczęściej są nakładane za pomocą metody cynkowania ogniowego i powinny spełniać wymagania normy PN-EN ISO 1461:2000. Zgodnie z normą grubość zastosowanych powłok cynkowych jest uzależniona od grubości i rodzaju materiału podłoża [4].



Rys.1. Przetwornik indukcyjny do pomiaru grubości warstw wierzchnich; 1 - warstwa wierzchnia, 2 - podłoże, 3 - droga strumienia magnetycznego, 4 - uzwojenie cewki

Przetwornik indukcyjny zbudowany jest z pojedynczej cewki, wówczas nazywany jest dławikowym lub dwóch lub więcej cewek, jest wówczas nazywany transformatorowym. (rys.1) [5].

Uzwojenia znajdujące się na rdzeniu ferromagnetycznym, stanowią elementy budowy dławika o otwartym obwodzie magnetycznym [6, 7]. Jest on zasilany prądem zmiennym o częstotliwości od kilkuset do kilkunastu tysięcy Hz, Obwód magnetyczny przetwornika zamyka się poprzez badaną powłokę i podłoże, a powłoka stanowi szczelinę w obwodzie.



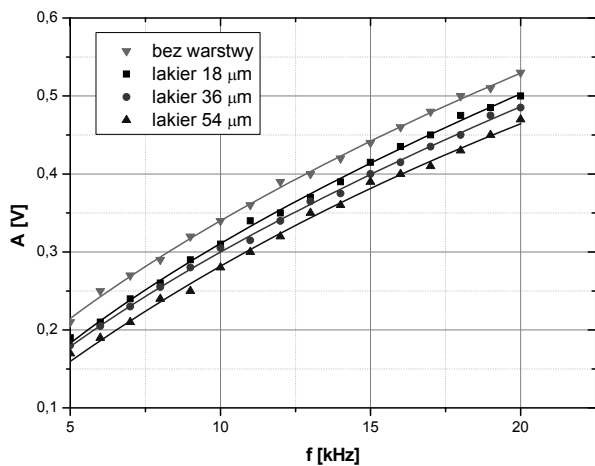
Rys. 2. Wyniki pomiaru amplitudy sygnału pomiarowego dla różnych grubości warstw wierzchnich aluminium na podłożu ferromagnetycznym o grubości 1 mm

Pomiary przetwornikiem indukcyjnościowym

Do przeprowadzenia pomiarów grubości warstw wierzchnich wykonano wzorcowe próbki o określonej grubości podłoża i warstwy wierzchniej. Grubość warstwy wierzchniej oszacowano na podstawie pomiarów za pomocą dwóch grubościomierzy firmy Fisher. Badania zostały wykonane dla podłoży ferromagnetycznych, przetwornik był zasilany głównie sygnałami sinusoidalnymi o wybranych częstotliwościach. Jako warstwę wierzchnią

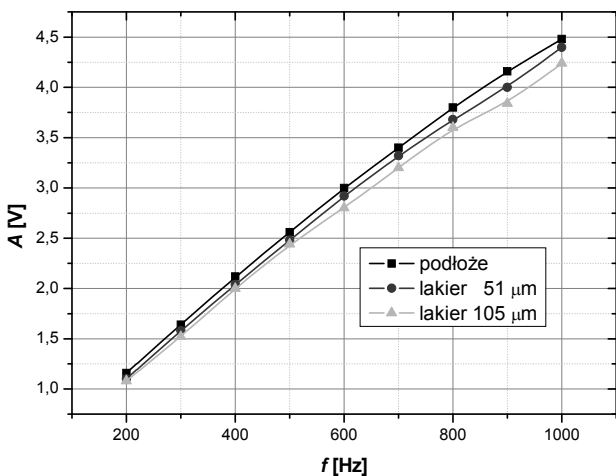
zastosowano powłoki o właściwościach nieferromagnetycznych i przewodzących [8, 9]. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono amplitudy sygnału pomiarowego w zależności od częstotliwości dla różnej grubości powłok aluminiowych i lakierniczych.

Celem badań była ocena możliwości wykorzystania przetwornika pomiarowego indukcyjnego do prowadzenia pomiarów grubości warstw wierzchnich bez konieczności przeprowadzania ich wcześniejszego wzorcowania na badanych powierzchniach. W przeprowadzonych badaniach sygnałem pomiarowym była amplituda. Na podstawie wcześniejszych badań określono przedział częstotliwości sygnału pomiarowego dla przetwornika indukcyjnego.



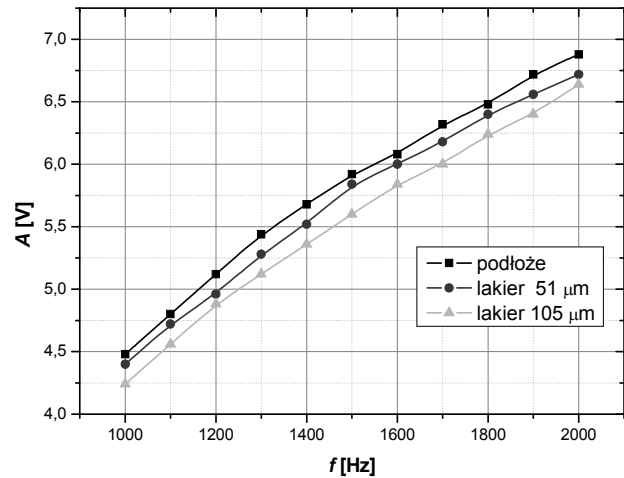
Rys. 3. Wyniki pomiaru amplitudy sygnału pomiarowego dla różnych grubości warstw wierzchnich lakierniczych na podłożu ferromagnetycznym o grubości 1 mm

Wykonano także pomiary dla mniejszej wartości częstotliwości sygnału przetwornika w zakresie od 50 Hz do 2 kHz. Wyniki pomiaru amplitudy sygnału pomiarowego uzyskane w trakcie pomiarów rozdzielono na dwa zakresy częstotliwości. Pierwszy zakres określono dla niewielkich częstotliwości od 200 Hz do 1 kHz. Zakres drugi zawiera częstotliwości od 1 kHz do 2 kHz. Na rysunku 4 przedstawiono wyniki pomiarów amplitudy sygnału sinusoidalnego o częstotliwości z przedziału od 200 Hz do 1 kHz.



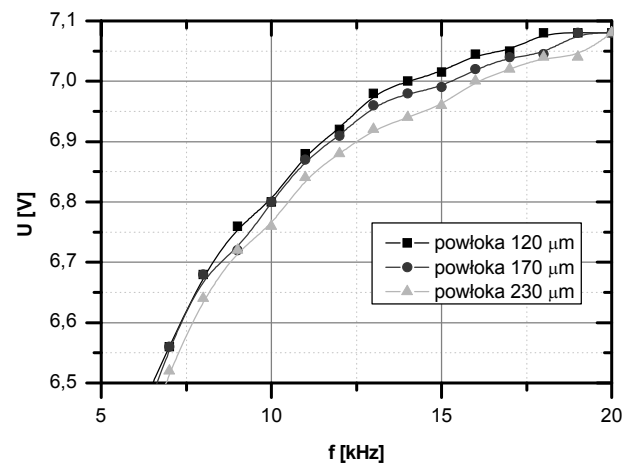
Rys. 4. Wyniki pomiarów amplitudy sygnału pomiarowego dla częstotliwości zasilania czujnika od 200 Hz do 1 kHz

Charakterystyka przedstawiona na rysunku 5 pokazuje wyniki pomiarów amplitudy sygnału sinusoidalnego o częstotliwości z przedziału od 1 kHz do 2 kHz. Można tutaj odnotować podobny przebieg charakterystyki jak na rys. 1 jednak przy zwiększonym wroście amplitudy w miarę zwiększania się grubości powłoki lakierniczej.



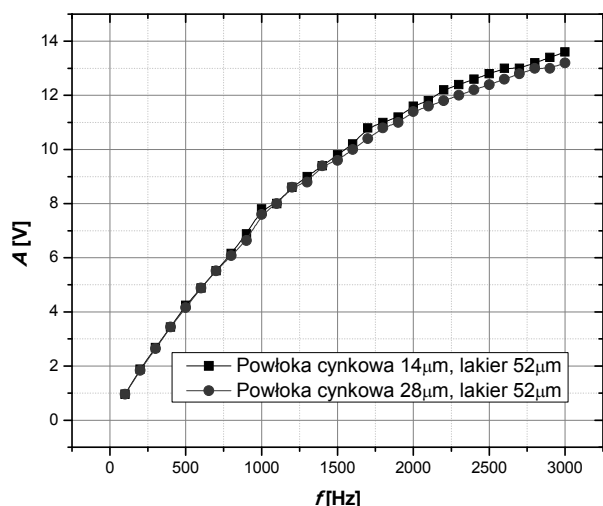
Rys. 5. Wyniki pomiarów amplitudy sygnału pomiarowego dla częstotliwości zasilania czujnika od 1 kHz do 2 kHz

W trakcie badań sprawdzono także możliwości badania grubości powłok ochronnych cynkowych umieszczonych na podłożu ferromagnetycznym stalowym o grubości 1mm oraz powłoki cynkowej znajdującej się pod warstwą lakierniczą. Rysunek 6 przedstawia wyniki pomiaru amplitudy sygnału pomiarowego w trakcie badania grubości powłok cynkowych o wybranych grubościach znajdujących się na podłożu stalowym. Zmiany grubości warstw cynkowych odwzorowują proporcjonalne zmiany amplitudy sygnału pomiarowego.



Rys. 6. Wyniki pomiarów grubości warstw cynkowych w zależności od zastosowanej częstotliwości sygnału pomiarowego

Na rysunku 7 przedstawiono wyniki pomiarów powłoki cynkowej naniesionej na podłożu stalowe pokryte zewnątrz warstwą lakieru o stałej grubości. Zastosowanie zmiennej grubości warstwy cynkowej miało na celu zasymulować zmiany wywołane procesami korozyjnymi, w trakcie których wewnętrzna warstwa cynkowa niewidoczna z zewnątrz zmniejsza swoją grubość. Zmiany tej grubości odwzorowują proporcjonalne zmiany amplitudy sygnału pomiarowego.



Rys. 7. Wyniki pomiarów amplitudy sygnału pomiarowego dla zmiennej grubości warstwy ochronnej cynkowej znajdującej się pod powłoką lakierniczą o stałej grubości

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące uwagi:

1. Przy pomocy przetwornika indukcyjnego można dokonać oceny zmian korozyjnych warstw wierzchnich części maszyn i urządzeń pracujących w niesprzyjających warunkach środowiskowych.
2. Przy zastosowaniu przetwornika indukcyjnego transformatorowego możliwy jest pomiar nie tylko grubości powłoki czy warstwy wierzchniej ochronnej ale także zbadanie jej szczelności i zużycia w dłuższym przedziale czasowym.
3. Wyniki badań laboratoryjnych posłużyły także do opracowania układu zasilającego oraz analizy uzyskanych danych sygnału pomiarowego w metodą elementów skończonych [10]. Również deterministyczne programy symulacyjne, do których należą niewątpliwie programy oparte na MES, są doskonałym przykładem wykorzystania wirtualnego środowiska w kształceniu politechnicznym [11]. Ocenę dokładności pomiarów grubości powłok można realizować również dla pomiarów wykonywanych w ramach zajęć dydaktycznych laboratoryjnych z Metrologii Elektrycznej np. metodą problemową i projektów.

Autorzy: dr Paweł Ptak, Politechnika Częstochowska, Katedra Automatyki, Elektrotechniki i Optoelektroniki, Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: p.ptak@o2.pl; dr Tomasz Prauzner, Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy im. Jana Długosza w Częstochowie, Katedra Pedagogiki, Aleja Armii Krajowej 13/15, 42-218 Częstochowa, e-mail: matompra@poczta.onet.pl; dr hab. Henryk Noga, Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN w Krakowie, Instytut Techniki; mgr inż. Piotr Migo, Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN w Krakowie, Instytut Techniki; doc. PaedDr. Jana Depešová, PhD., Uniwersytet Konstantyna Filozofa w Nitrze, Katedra Techniki i Technologii Informatycznych

LITERATURA

- [1] Lewińska-Romicka A., Pomiary grubości powłok. Biuro Gamma, Warszawa (2001)
- [2] Głowacka M., Inżynieria powierzchni. Powłoki i warstwy wierzchnie – wybrane zagadnienia. Skrypt Politechniki Gdańskiej, Gdańsk (2007)
- [3] Ptak P., Borowik L., Diagnostyka zabezpieczeń antykorozyjnych na potrzeby elektroenergetyki. *Przegląd Elektrotechniczny*, (2012), nr.9a, 142-145
- [4] Złoto, T., Ptak, P., Prauzner, T., Analysis of signals from inductive sensors by means of the DasyLab software. *Annales UMCS Informatica*, (2012), 31-37
- [5] May P., Morton D., Zhou E., The design of a ferrite-cored probe. *Sensors and Actuators*, A 136, 221-228.
- [6] Smetana M., Strapacova T., Detection capabilities evaluation of the advanced sensor types in Eddy Current Testing. *Przegląd Elektrotechniczny*, (2013), nr.3a, 247-249
- [7] Ptak P., Janiczek R., Przetworniki indukcyjnościowe w pomiarach grubości warstw wierzchnich. *Przegląd Elektrotechniczny*, (2007), nr.1, 86- 90
- [8] Ptak P., Prauzner T., Badanie czujników detekcji zagrożeń w systemach alarmowych. *Przegląd Elektrotechniczny*, (2013), nr.10, 274-276
- [9] Janiczek R., Ptak P.: Przetworniki indukcyjnościowe w pomiarach grubości warstw wierzchnich. *Przegląd Elektrotechniczny*, (2007), nr.1, 86- 90
- [10] Prauzner T., Finite Element Method in an analysis of selected parameters of an inductive sensor for protective coatings measurements, *Przegląd Elektrotechniczny*, 91 (2015), nr.12, 205-208
- [11] Prauzner T., Interactive computer simulation as a response to contemporary problems of technical education, *SOCIETY. INTEGRATION. EDUCATION, Proceedings of the International Scientific Conference*. (Vol.II), Rēzekne, (2016), 579-588