

Badanie wielowarstwowych powłok ochronnych

Streszczenie: Artykuł prezentuje wyniki badań czujnika elektromagnetycznego indukcyjnego, który będzie w stanie wykryć i zlokalizować wady oraz ich występowanie w badanych powłokach ochronnych. Dla wybranych rodzajów sygnałów przeprowadzono szereg pomiarów dobierając częstotliwość i amplitudę. Grubość warstwy ochronnej określono przy pomocy dokładnych przyrządów znanej firmy Fischer.

Abstract: Article presents results of research of an electromagnetic induction sensor, which is able to detect and locate defects and their existence in tested protective coatings. For some types of signals, conducted a series of measurements by choosing the frequency, amplitude. Thickness of protective layer were determined by accurate instruments known brand Fischer. (**Research of multi-layer protective coatings**)

Słowa kluczowe: czujnik indukcyjny, defektoskopia powłok ochronnych
Keywords: inductive sensor, flaw detection protective layers

Wstęp

W celu ochrony lub ozdoby elementów metalowych maszyn lub konstrukcji stosuje się powłoki ochronne. Aby spełniały swoje zadanie muszą posiadać właściwe parametry odnośnie grubości, jakości, wyglądu lub wytrzymałości [1].

Pod wpływem działania szkodliwych czynników zewnętrznych powierzchnia zewnętrzna konstrukcji i elementów maszyn ulega zużyciu. Sprawdzenie dominującego szkodliwego oddziaływania pozwala zastosować skuteczne zabezpieczenia [2].

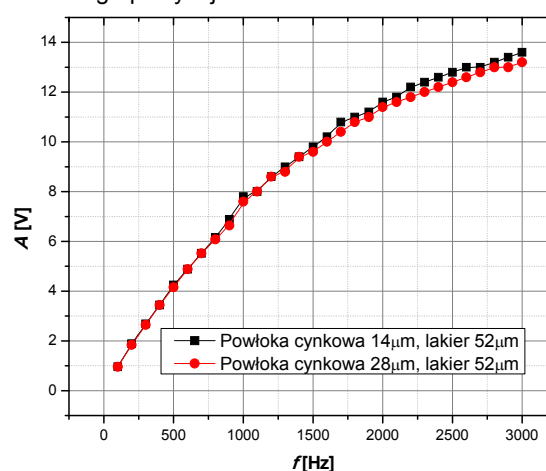
Najczęściej stosuje się powłoki ochronne cynkowe ze względu na najlepsze właściwości w stosunku do powłok stalowych lub żelaznych. Powłoki cynkowe najczęściej są nakładane za pomocą metody cynkowania ogniowego i powinny spełniać wymagania normy PN-EN ISO 1461:2000. Zgodnie z normą grubość zastosowanych powłok cynkowych jest uzależniona od grubości i rodzaju materiału podłoża [3].

Badanie wielowarstwowych powłok ochronnych cynkowych

Badania przeprowadzono na próbkach z blachy stalowej o grubości 1 μm , na których naniesiono ochronną warstwę cynku a następnie pokryto lakierem ochronnym. Wykorzystano próbki o grubości warstwy cynkowej 14 μm oraz 28 μm pokrytych z zewnątrz lakierem o grubości 52 μm . Grubość warstw cynkowych kontrolowano za pomocą dwóch grubościomierzy o dużej dokładności firmy Fisher [4]. Do badania wykorzystano czujnik indukcyjny [4,5,6,7] a otrzymane wyniki odniesiono do pomiarów wykonanych przyrządami wzorcowymi Fischera. Do pomiarów pola magnetycznego stosowane są także inne czujniki pola magnetycznego takie jak hallotronowe czy magnetorezystancyjne i inne [8,9,10]. Zastosowany przetwornik indukcyjny transformatorowy zbudowany jest z dwóch uzwojeń nawiniętych na wspólnym rdzeniu ferromagnetycznym. Uzwojenie pierwotne zasilane jest sygnałem sinusoidalnym o częstotliwości od 100 do 3000 Hz. W tym zakresie częstotliwości zmiana amplitudy sygnału pomiarowego jest dla badanych warstw największa [11,12].

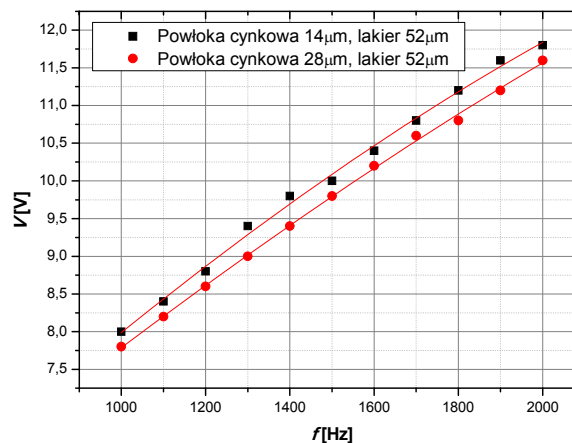
Na rysunku 1 przedstawiono wyniki pomiarów powłoki cynkowej o zmiennej grubości naniesionej na podłożu stalowe pokryte zewnątrz warstwą lakieru. Zastosowanie zmiennej grubości warstwy cynkowej miało zasymulować zmiany wywołane procesami korozyjnymi, w trakcie których wewnętrzna warstwa cynkowa niewidoczna z zewnątrz zmniejsza swoją grubość. Zmiany tej grubości odwzorowują proporcjonalne zmiany amplitudy sygnału pomiarowego. Sygnał pomiarowy dla grubszej warstwy cynkowej o wartości 28 μm posiada mniejszą amplitudę niż w przypadku

miaru cieńszej warstwy cynkowej o grubości 14 μm . Największe różnice występują dla częstotliwości sygnału pomiarowego powyżej 1500 Hz.



Rys. 1. Wyniki pomiarów amplitudy sygnału czujnika indukcyjnego dla częstotliwości 50 ÷ 3000 Hz

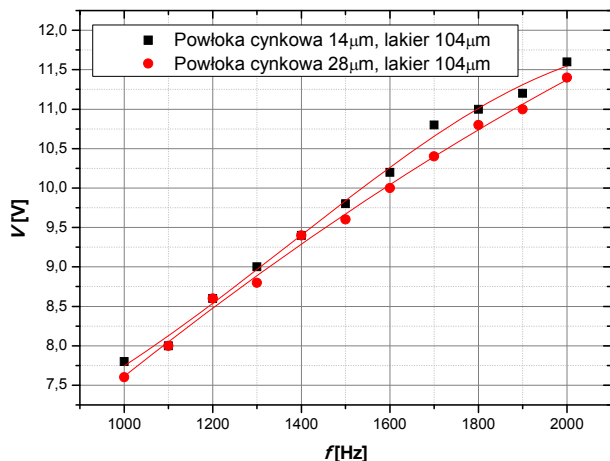
Na rysunku 2 pokazano wyniki pomiarów grubości powłok cynkowych znajdujących się pod powłoką lakierniczą i niedostępnych w związku z tym do badania klasycznymi metodami pomiarowymi. Do badania wykorzystano próbki warstw cynkowych o grubościach 28 μm oraz 14 μm . Przedstawiono w powiększeniu wyniki pomiarów dla zakresu częstotliwości sygnału pomiarowego od 1000 do 2000 Hz.



Rys. 2. Wyniki pomiarów amplitudy sygnału o częstotliwości 1000 ÷ 2000 Hz dla zmiennej grubości warstwy cynkowo-lakierniczej

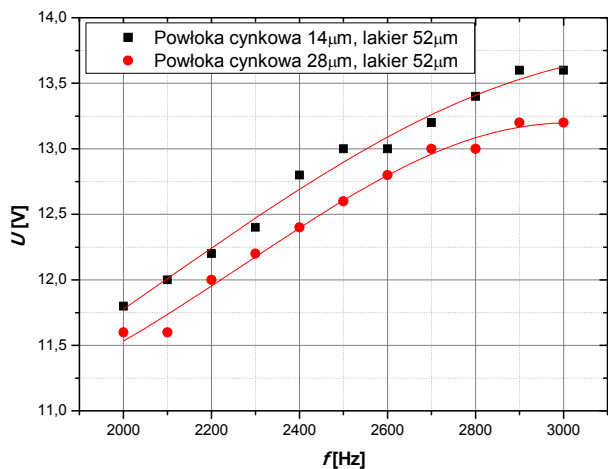
W całym zakresie częstotliwości zmiany amplitudy sygnału pomiarowego są zbliżone w granicach błędów pomiarowych.

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki pomiarów grubości powłok cynkowych o grubościach 28 μm oraz 14 μm znajdujących się pod powłoką lakierniczą o grubości 104 μm . W tym przypadku wraz ze zwiększaniem się częstotliwości sygnału pomiarowego amplituda sygnału odpowiedzi czujnika wzrasta. Umożliwia to lepsze sprawdzenie grubości warstwy cynkowej wrażliwej na zmiany korozyjne.

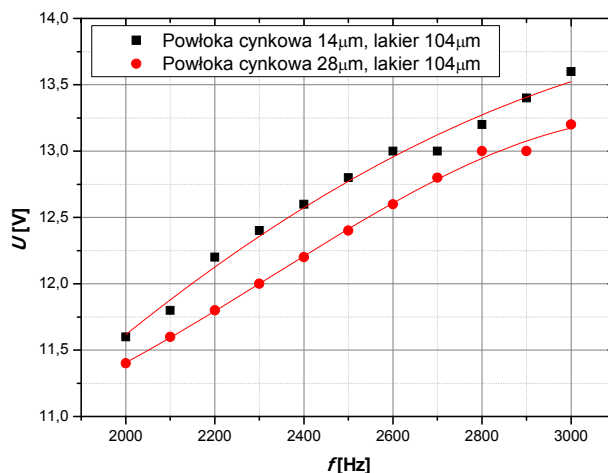


Rys. 3. Wyniki pomiarów amplitudy sygnału o częstotliwości 1000 + 2000 Hz dla zmiennej grubości warstwy cynkowo-lakierniczej

Na rysunkach 4 i 5 zobrazowano wyniki badania powłoki cynkowej o grubościach 14 μm oraz 28 μm pokrytych powłoką lakierniczą o grubości 52 μm i 104 μm . Pomiary wykonano dla częstotliwości sygnału pomiarowego w zakresie od 2 kHz do 3 kHz. Jak można zauważyć dla powłoki lakierniczej o większej grubości wartość amplitudy sygnału jest nieznacznie mniejsza ale to wynika z budowy i zasady działania czujnika pomiarowego gdzie grubsza powłoka odpowiada za większą szczelinę w obwodzie magnetycznym. Dla większości zakresu pomiarowego charakterystyki uzyskane w wyniku pomiarów mają charakter zbliżony do liniowego. Można zaobserwować większą różnicę amplitudy sygnału pomiarowego pomiędzy obiema grubościami ochronnej warstwy cynkowej niż w przypadku badania dla częstotliwości od 1 kHz do 2 kHz przedstawionych na wcześniejszych rysunkach 2 i 3.



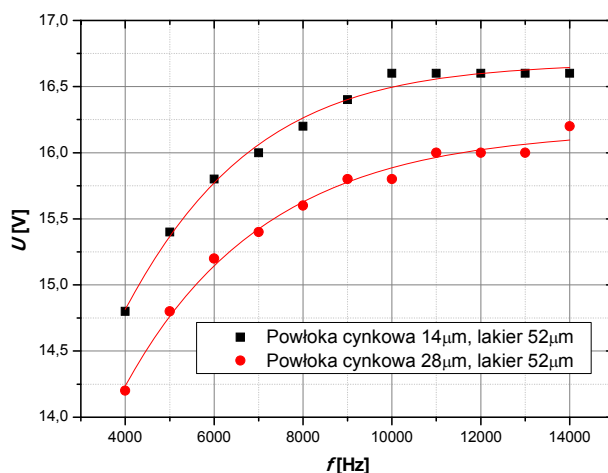
Rys. 4. Wyniki pomiarów amplitudy sygnału o częstotliwości 2000 + 3000 Hz dla zmiennej grubości warstwy cynkowo-lakierniczej



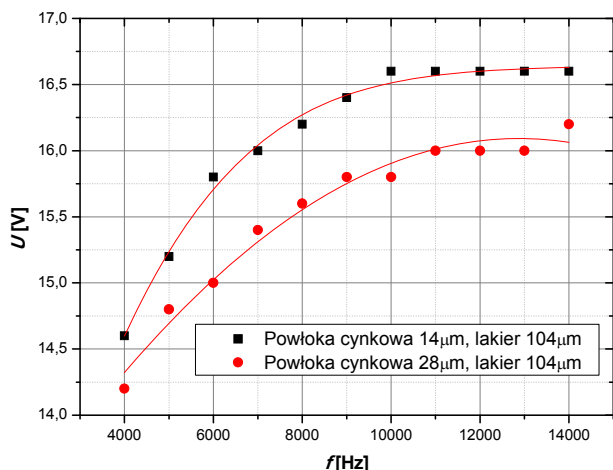
Rys. 5. Wyniki pomiarów amplitudy sygnału o częstotliwości 2000 + 3000 Hz dla zmiennej grubości warstwy cynkowo-lakierniczej

Rysunki 6 i 7 przedstawiają rezultaty badań ochronnych powłok cynkowych o grubości 14 μm i 28 μm pokrytych powłoką lakierniczą o grubości 52 μm oraz 104 μm . Pomiary wykonano dla częstotliwości sygnału pomiarowego czujnika indukcyjnego o wartościach od 4 kHz do 14 kHz. Jak można zauważyć liniowość charakterystyk wraz ze wzrostem częstotliwości sygnału pomiarowego maleje w poszczególnych podzakresach. Charakterystyki ulegają spłaszczeniu a czujnik pomiarowy przestaje reagować na zmiany częstotliwości sygnału pomiarowego. Odległości pomiędzy charakterystykami dla powłoki 14 μm i 28 μm są większe niż dla niższych częstotliwości sygnału pomiarowego ale dokładność poszczególnych pomiarów jest znacznie mniejsza i obciążona czynnikami zakłócającymi. Praktyczne pomiary udowodniły największą skuteczność pomiarów dla częstotliwości sygnału pomiarowego w zakresie od 1 kHz do 3 kHz i dla tego zakresu częstotliwości zostały wykonane dokładne badania. Dwa ostatnie rysunki tj. 6 i 7 zostały umieszczone w celu prezentacji jak zmienia się trend pomiarowy ze wzrostem częstotliwości sygnału czujnika.

Na wszystkich wykresach krzywe pomiarowe zostały uśrednione i zoptymalizowane za pomocą funkcji Gaussa. Na podstawie wyników badań przedstawionych na poprzednich wykresach można zauważyć największą przydatność zakresu częstotliwości od 2 kHz do 3 kHz.



Rys. 6. Wyniki pomiarów amplitudy sygnału o częstotliwości 4000 + 14000 Hz dla zmiennej grubości warstwy cynkowo-lakierniczej



Rys. 7. Wyniki pomiarów amplitudy sygnału o częstotliwości 4000 + 14000 Hz dla zmiennej grubości warstwy cynkowo-lakierniczej

Odpowiedź czujnika dla zmiany grubości badanej powłoki cynkowej z 28 μm na 14 μm jest dobrze rozróżnialna i umożliwia dokładny odczyt. Zastosowany zakres częstotliwości powoduje mniejsze zakłócenia powodowane przez czynniki zewnętrzne. Grubość warstwy lakierniczej nie wpływa w istotny sposób na czułość pomiarów pomiędzy zakładaną warstwą cynkową o grubości 28 μm oraz warstwą cynkową, która uległa zmianom korozyjnym i degradacji o grubości 14 μm .

Kryteria wyboru częstotliwości pracy przetwornika pomiarowego związane są z głębokością wnikańia sygnału w badaną powierzchnię oraz z czułością przetwornika pomiarowego. Częstotliwości te zazwyczaj są tak dobierane aby umożliwić pomiar grubości warstwy niemagnetycznej, w tym przypadku cynkowej, znajdującej się pod warstwą izolacyjną ochronną. Doświadczalnie wyznaczone optymalne częstotliwości pracy te zostały także wykorzystane do zamodelowania systemu pomiarowego w popularnym pakiecie programowym DasyLab [3]. Pakiet ten jest często wykorzystywanym w wielu różnorodnych zastosowaniach praktycznych i badawczych [13,14,15].

Weryfikację badań czułości zastosowanego czujnika indukcyjnego do pomiarów grubości warstw wierzchnich wykonano również za pomocą obliczeń metodą elementów skończonych w przestrzeni 3D w Instytucie Edukacji Technicznej i Bezpieczeństwa AJD w Częstochowie. Wykonany projekt stanowi próbę opracowania coraz dokładniejszego modelu do dalszych szczegółowych badań. Projektowanie modeli symulacyjnych układów badawczych i pomiarów parametrów pracy czujników pomiarowych często wykorzystywane jest w kształceniu technicznym na poziomie szkoły wyższej o profilu technicznym [16].

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić że:

- opisany przetwornik indukcyjny może być zastosowany do pomiarów warstw cynkowych znajdujących się pod

warstwą lakierniczą i niedostępnych do badania za pomocą innych grubościomierzy,

- analiza zmian korozyjnych wewnętrznych metalowych warstw ochronnych pozwala zastosować skuteczne zabezpieczenia części maszyn i urządzeń oraz ich kontrolę na bieżąco w trakcie procesu eksploatacji.

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, Nr 9a/2012, s. 142-145, ISSN 0033-2097
- [4] Złoto, T., Ptak, P., Prazner, T., *Analysis of signals from inductive sensors by means of the DasyLab software*. Annales UMCS Informatica, 2012, s. 31-37. ISSN 1732-1360
- [5] May P., Morton D., Zhou E., *The design of a ferrite-cored probe*. Sensors and Actuators, A 136 s. 221-228.
- [6] Smetana M., Strapacova T., *Detection capabilities evaluation of the advanced sensor types in Eddy Current Testing*. Przegląd Elektrotechniczny, Nr 3a/2013, s. 247-249
- [7] Ptak P., Prazner T., *Badanie czujników detekcji zagrożeń w systemach alarmowych*. Przegląd Elektrotechniczny, Nr 10/2013, s. 274-276. ISSN 0033-2097
- [8] Prazner T., Ptak P., *Analiza parametrów pracy wybranych czujników pola magnetycznego*. Przegląd Elektrotechniczny, Nr 12/2014, pp.273-276. ISSN 0033-2097
- [9] Prazner T., *Effectiveness of magnetic detectors in alarm systems*. Przegląd Elektrotechniczny, R. 90, Nr 12/2014, s. 269-272. ISSN 0033-2097
- [10] Prazner T., *Zakłócenia elektromagnetyczne w elektronicznych systemach alarmowych*. Przegląd Elektrotechniczny, Nr 12b/2012, s. 205-208. ISSN 0033-2097
- [11] Ptak P., Janiczek R., *Przetworniki indukcyjnościowe w pomiarach grubości warstw wierzchnich*. Przegląd Elektrotechniczny, Nr 1/2007, s. 86- 90. ISSN 0033-2097
- [12] Ptak P., Prazner T., *Badanie czujników detekcji zagrożeń w systemach alarmowych*. Przegląd Elektrotechniczny, Nr 10/2013, s. 274-276. ISSN 0033-2097
- [13] Jakubiec B., *Model elektrycznego układu napędowego małego systemu mobilnego*. Przegląd Elektrotechniczny, R.89, Nr 12/2013, s.173-176. ISSN 0033-2097
- [14] Olesiak K., *Application of the fuzzy controller in the speed control system of an induction motor*. Przegląd Elektrotechniczny, R.89 Nr 12/2013, s. 336-339. ISSN 0033-2097
- [15] Grishkevich A., Piątek Ł., Burmutaew A., *Frequency and outage duration in electric power systems*. Przegląd Elektrotechniczny, R.85, Nr 3/2009, s. 220-222. ISSN 0033-2097
- [16] Noga H., *Metody socjometryczne w edukacji technicznej – informatycznej*. Trendy ve vzdělávání 2009, Informační technologie a technické vzdělávání, 2009, s.165-169. ISBN 978-80-7220-316-1

Autorzy: dr hab. inż. Lech Borowik prof. Politechniki Częstochowskiej, dr Paweł Ptak Politechnika Częstochowska, Instytut Telekomunikacji i Kompatybilności Elektromagnetycznej, Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: p.ptak@o2.pl