

## Streszczenie rozprawy doktorskiej

# **Detekcja nieciągłości w płytach wykonanych ze stopów niklowo-chromowych i aluminiowych z wykorzystaniem metody prądów wirowych oraz algorytmów sztucznej inteligencji**

**Jacek Michał Grochowalski**

Rozprawa doktorska poświęcona jest tematyce nieniszczących badań materiałów przewodzących. Celem pracy było opracowanie i udoskonalenie metody defektoskopii z zastosowaniem prądów wirowych, i co za tym idzie zwiększenia prawdopodobieństwa wykrycia wad w płytach wykonanych ze stopów niklowo-chromowych i aluminiowych.

W pierwszym etapie skupiono się na opracowaniu i doborze odpowiedniego sposobu wzbudzenia prądów wirowych w badanych materiałach. Do wygenerowania zmiennego pola elektromagnetycznego, w pierwszej kolejności wykorzystano magnesy trwale wprowadzone w ruch obrotowy. W następnych etapach wykorzystano wzbudzenie cewkami oraz zmodyfikowaną metodę MFES-ECT (Multi-Frequency Excitation and Spectrogram Eddy Current Testing). Cewki wzbudzające były zasilane prądem zawierającym składowe sinusoidalne o odpowiednio dobranych częstotliwościach, amplitudach i fazach. Zmienne pole elektromagnetyczne o niższej częstotliwości umożliwia wykrycie głębiej położonych wad, lecz w związku z rozplywem prądów wirowych w większej objętości testowanego materiału, rozdzielczość przestrzenna systemu pomiarowego jest mniejsza. Pole elektromagnetyczne o wyższej częstotliwości umożliwia uzyskanie większej rozdzielczości, ale w związku z płytszym wnikaniami prądów wirowych do materiału badanego, to praktycznie zanika możliwość wykrycia i identyfikacji głębiej umiejscowionych wad.

W celu poprawy wykrywalności wad, zaproponowano nową metodę PMFES-ECT (Pulsed Multi-Frequency Excitation and Spectrogram Eddy Current Testing), która łączy zalety metody wieloczęstotliwościowej (MFES-ECT) z zaletami metody impulsowej (PECT, Pulsed Eddy Current Testing), a w szczególności pozwala na uzyskanie większej gęstości prądów wirowych w badanych materiałach, a tym samym wyższych wartości stosunku sygnału do szumu. Ponadto, metoda PMFES-ECT jest także bardziej energooszczędna, co stwarza możliwości zastosowania jej w urządzeniach przenośnych.

Proponowane w pracy czujniki przeznaczone do metody prądów wirowych były przebadane w trakcie eksperymentów pomiarowych, ale zostały również zamodelowane w układzie dwuwymiarowym oraz trójwymiarowym, w środowisku obliczeniowym wykorzystującym metodę elementów skończonych (Finite Element Method – FEM). Dzięki temu możliwe było wykonanie całych serii symulacji, których wyniki posłużyły między innymi do weryfikacji i korekty założeń projektowych czujników.

W kolejnym etapie prac skupiono się na przetwarzaniu otrzymanych sygnałów pomiarowych w celu dokładniejszej identyfikacji wady występującej w badanym materiale. Zastosowano algorytmy cyfrowego przetwarzania sygnałów, aby zredukować szумы oraz opracowano funkcje aproksymujące te sygnały pozwalające na dalszą poprawę ich jakości.

Wyeliminowanie operatora i skrócenie czasu potrzebnego na przeprowadzenie procesu identyfikacji wady uzyskano stosując algorytmy sztucznej inteligencji. Do realizacji tego celu, ze względu na wydajność wybrano algorytm k najbliższych sąsiadów (k-NN, k Nearest Neighbours). Baza ucząca dla algorytmu k-NN powstała z wykorzystaniem wyników serii trójwymiarowych symulacji numerycznych FEM układu czujnika wiroprądowego wraz z płytką przewodzącą, w której zamodelowane zostały wady o różnej długości i głębokości. Wykorzystanie bazy uczącej i wyników optymalizacji parametrów algorytmu k-NN pozwoliło na opracowanie klasyfikatora, który został przetestowany na rzeczywistych sygnałach pomiarowych otrzymanych dla wad pomierzonych w badanym obiekcie.

Po zakończeniu badań stwierdzono, że odpowiedni dobór układu wzbudzenia, jak i elementów detekcyjnych w defektoskopii wiroprądowej, połączony z zastosowaniem algorytmów sztucznej inteligencji do analizy danych pomiarowych, pozwala na skrócenie czasu inspekcji, zwiększenie prawdopodobieństwa wykrycia i prawidłowej identyfikacji nieciągłości występujących w płytach wykonanych ze stopów niklowo-chromowych i aluminiowych.

Słowa kluczowe: badania nieniszczące, metoda prądów wirowych, metoda elementów skończonych, sztuczna inteligencja, metoda k najbliższych sąsiadów

*Joel Grodzki*  
19.06.2024