

Warszawa 1.06.2011

Prof. dr hab. inż. Lech Dietrich
ul. Iskry 39,
01-472 Warszawa.



Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Michała Szudyga pt. „Diagnozowanie metodą magnetyczną procesów zmęczeniowych stali stosowanej do kół i obręczy kolejowych zestawów kołowych”.

Uwagi ogólne.

Rozprawa doktorska Pana mgra inż. Michała Szudyga pt. „Diagnozowanie metodą magnetyczną procesów zmęczeniowych stali stosowanej do kół i obręczy kolejowych zestawów kołowych” liczy 118 stron maszynopisu, 86 rysunków i 161 pozycji cytowanej w pracy literatury naukowej. W pracy można wyodrębnić trzy części. W pierwszej z nich przedstawiono krótki wstęp i zwarty przegląd nieniszczących metod defektoskopowych stosowanych w kolejnictwie, ze szczególnym uwzględnieniem metod wykorzystywanych do diagnozowania stanu uszkodzeń zmęczeniowych materiału. Następnie przedstawiono, na stronie 47 jasno sformułowany cel pracy. W zasadniczej części pracy przedstawiono wyniki analizy składu chemicznego, analizy metalograficznej stali stosowanej na koła kolejowe przed eksploatacją i po zadanych obciążeniach cyklicznych generujących rozwój uszkodzeń zmęczeniowych. Przedstawiono szczegółowe wyniki badań zmęczeniowych obrazujących ewolucję rozwoju uszkodzeń zmęczeniowych i określających akumulację uszkodzeń jako funkcję znormalizowanej liczby cykli. Trzecia część pracy dotyczy analizy zmian parametrów magnetycznych badanych stali pod wpływem obciążeń cyklicznych generujących procesy rozwoju uszkodzeń zmęczeniowych. Przedstawiono wyniki badań zmian parametrów magnetycznych i indukcyjnych analizując możliwości ich wykorzystania do monitorowania procesów rozwoju uszkodzeń zmęczeniowych i wskazując sposób diagnozowania stanu zmęczenia materiału w zastosowaniach kolejnictwa. Praca kończy się jasno sprecyzowanymi i dobrze umotywowanymi wnioskami.

Proces zmęczenia metali został po raz pierwszy zauważony i opisany w pierwszych latach szybkiego rozwoju kolejnictwa i zawsze był istotnym czynnikiem uwzględnianym w projektowaniu i eksploatacji podstawowych elementów systemu kolejowego. Rozwój szybkiej kolei, jaki obserwujemy w ostatnich latach na świecie, jeszcze bardziej podkreślił znaczenie procesów zmęczenia metali i uwypuklił rolę systematycznej diagnostyki stanu

technicznego podstawowych elementów systemu kolejowego metodami nieniszczącymi dla zapewnienia bezpiecznej eksploatacji. Uwzględniając te właśnie czynniki, które zresztą są punktem wyjścia recenzowanej pracy doktorskiej, należy podkreślić aktualność podjętej tematyki i to zarówno pod względem naukowym jak i ze względu na istotność inżynierskich zastosowań problemów rozpatrywanych w pracy doktorskiej Pana mgr inż. Michała Szudyga.

Ocena rozprawy doktorskiej

Celem rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Michała Szudyga pt. „Diagnozowanie metodą magnetyczną procesów zmęczeniowych stali stosowanej do kół i obręczy kolejowych zestawów kołowych” jest wskazanie istotnego parametru magnetycznego skorelowanego z rozwojem uszkodzeń zmęczeniowych stali ferrytycznych stosowanych w kolejnictwie i opracowanie nieniszczącej metody oceny uszkodzeń zmęczeniowych rozwijających się pod wpływem obciążeń cyklicznych w elementach układów kolejowych.

We wstępnej części przedstawiono motywacje podjęcia tematyki rozwoju metod diagnostyki eksploatacyjnej na podstawie nieniszczących pomiarów zmian parametrów pola magnetycznego pod wpływem rozwoju procesów uszkodzeń zmęczeniowych. Wskazano na znaczenie procesów zmęczenia metali dla bezpiecznej eksploatacji w transporcie kolejowym z uwzględnieniem rozwoju szybkiej kolei. Przedstawiono przegląd materiałów stosowanych na koła kolejowe o różnej konstrukcji i wskazano na zasadnicze czynniki eksploatacyjne odpowiedzialne za powstawanie i rozprzestrzenianie się pęknięć, a w konsekwencji do zniszczenia elementu konstrukcyjnego. Omówiono również podstawowe metody diagnostyki stosowanej w kolejnictwie wykorzystujące techniki ultradźwiękowe, magnetyczne i wiroprądowe, ze szczególnym uwzględnieniem współczesnych, specjalizowanych i w pełni skomputeryzowanych stanowisk pomiarowych.

W kolejnym punkcie podano przegląd technik wyznaczania stopnia zmęczenia materiału. Przedstawiono podstawowe definicje mechaniki uszkodzeń materiałów i podano różne propozycje miar uszkodzeń oraz możliwości ich detekcji i pomiaru. W opisie wykorzystano najnowsze publikacje naukowe z roku 2006 w odniesieniu do techniki uwzględniającej pomiary zmian odkształceń temperatury i rezystancji w zlokalizowanym obszarze rozwoju uszkodzeń, czy z roku 2008 i 2009 w odniesieniu do nowych technik magnetycznych. Uwzględniono również techniki klasyczne, znane i rozwijane już wcześniej, które ze względu na wysokie koszty nie było dotychczas wykorzystywane w kolejnictwie w szerszym stopniu. Wspomniane są metody radiograficzne, termograficzne, anihilacji

pozytonów, emisji akustycznej czy mikroskopowe obserwacje zmian struktury materiałowej, które do tej pory z różnych względów nie były powszechni stosowane w diagnostyce eksploatacyjnej w kolejnictwie, ale wciąż są doskonałe i mogą być wykorzystane w przyszłości.

Część przeglądu różnych technik monitorowania rozwoju uszkodzeń zmęczeniowych zakończona jest wskazaniem zalet stosowania metod magnetycznych do oceny stopnia uszkodzeń zmęczeniowych i syntetycznym opisaniem związku poszczególnych parametrów pola magnetycznego z mechanicznymi parametrami opisującymi rozwój uszkodzeń zmęczeniowych.

Zasadnicza część pracy doktorskiej Pana mgr inż. Michała Szudyga obejmuje analizę doświadczalną dwóch różnych rodzajów badań, a mianowicie badań mechanicznych przy obciążeniach cyklicznie zmiennych w zakresie zmęczenia wysoko cyklowego i badań fizycznych obrazujących zmiany parametrów struktury krystalograficznej i pola magnetycznego badanej próbki umieszczonej w polu magnetycznym o stałym lub zmiennym natężeniu wywołanym przez cewkę indukcyjną. Każdy z tych trzech rodzajów badań wymaga specjalistycznej aparatury badawczej i wyspecjalizowanych procedur badawczych. Sprawą istotną było ustalenie odpowiednio zsynchronizowanego programu badań specjalistycznych wykonywanych w laboratoriach specjalistycznych i odpowiednie zaplanowanie i przygotowanie próbek spełniających wymagania odmiennych urzędów pomiarowych stosowanych w badaniach mechanicznych i fizycznych. Przedstawiony w pracy doktorskiej Pana mgr inż. Michała Szudyga program badań doświadczalnych przewidywał:

1. wykonanie badań metalograficznych określających strukturę krystalograficzną próbek nowych i po realizacji określonej liczby cykli o różnej amplitudzie naprężenia,
2. wykonanie badań zmęczeniowych wyznaczających charakterystykę zmęczeniową badanego materiału nie tylko w postaci klasycznej krzywej Wohlera, ale również określającej ewolucję rozwoju uszkodzeń zmęczeniowych jako funkcję amplitudy naprężenia,
3. wykonanie badań właściwości magnetycznych próbek nowych i po określonej historii obciążeń cyklicznych wywołujących określony stan rozwoju uszkodzeń zmęczeniowych,
4. przygotowanie serii próbek o określonym stopniu rozwoju uszkodzeń zmęczeniowych dla próbek o wstępnie wyselekcjonowanych właściwościach magnetycznych,

5. przetworzenie wyników badań doświadczalnych i określenie funkcji korelacyjnych pomiędzy stopniem rozwoju uszkodzeń zmęczeniowych i wybranymi parametrami cech magnetycznych badanych próbek.

Realizacja tego złożonego, interdyscyplinarnego programu badań doświadczalnych zakończyła się sukcesem i w pracy wskazano wyraźną korelację natężenia pola koercji, przenikalności magnetycznej i wartości tangensa kąta stratności od stopnia rozwoju uszkodzeń przy odpowiednio dobranej częstotliwości i natężenia pola magnesującego próbkę.

Rezultaty recenzowanej pracy doktorskiej wskazują na techniczną możliwość pomiaru stopnia uszkodzeń zmęczeniowych poprzez pomiar zmian właściwości magnetycznych pod wpływem długotrwałych obciążeń cyklicznych badanej objętości materiału znajdującego się w odpowiednio dobranym polu magnetycznym.

Rezultat końcowy pracy doktorskiej Pana mgra inż. Michała Szudyga pt. „Diagnozowanie metodą magnetyczną procesów zmęczeniowych stali stosowanej do kół i obręczy kolejowych zestawów kołowych” jest w moim przekonaniu oryginalny i wartościowy zarówno z naukowego punktu widzenia jak i ze względu na możliwe i ważne zastosowania inżynierskie o istotnym znaczeniu dla zwiększenia bezpieczeństwa transportu kolejowego, a zwłaszcza dla rozwoju szybkiej kolei. Możliwość oceny stopnia uszkodzeń zmęczeniowych to znaczące przesunięcie granicy wykrywalności zagrożonych możliwością wystąpienia pęknięcia zmęczeniowego obszarów o krytycznej koncentracji naprężenia wywołanej degradacją struktury materiału. Możliwość wykrycia obszarów o określonym stopniu zmian struktury materiału jeszcze przed wystąpieniem pęknięcia zmęczeniowego, a zwłaszcza przed wystąpieniem dominującego pęknięcia zmęczeniowego to znaczące zwiększenie marginesu bezpieczeństwa eksploatacji na kolei.

Uwagi szczegółowe

Problematyka pracy doktorskiej Pana mgra inż. Michała Szudyga pt. „Diagnozowanie metodą magnetyczną procesów zmęczeniowych stali stosowanej do kół i obręczy kolejowych zestawów kołowych” jest trudna i skomplikowana. Problem zniszczenia zmęczeniowego należy bez wątpienia do najtrudniejszych wyzwań współczesnej techniki. Mimo upływu już ponad 200 lat od pierwszego opisanego w literaturze naukowej przypadku zmęczeniowego pęknięcia szyny kolejowej wciąż dochodzi do tragicznych katastrof z powodu niekontrolowanego rozwoju uszkodzeń zmęczeniowych. Podstawowa trudność wynika z lokalnego charakteru procesów rozwoju uszkodzeń zmęczeniowych. Z drugiej strony większość metod defektoskopii polega na uśrednianiu zmian wywołanych defektami

lokalnymi po całej badanej objętości materiału. Rozbieżność ta dotyczy również metod magnetycznych rozpatrywanych w pracy. Jest to istotny problem ograniczający możliwości wczesnej detekcji zagrożonych obszarów i szkoda, że w pracy nie podjęto dyskusji w tej sprawie.

Układ pracy jest przejrzysty, jej redakcja jest w zasadzie staranna, ale w kilku miejscach nie uniknięto błędów. Rysunki 3.1 i 3.2 nie są dobrze opisane, brak jest informacji czy przedstawiono składowe naprężenia czy intensywności. Definicje parametrów uszkodzeń zawierają błędy, wzór (5.2) ma źle ulokowany przecinek, wzory 5.3 i 5.4 są odmiennie zdefiniowane, we wzorze 5.7 źle określono symbol G_f podając, że jest to wartość mikrotwardości w innym momencie zniszczenia, a jest to mikrotwardość po zniszczeniu. We wzorze 5.8 pomyłono symbol prędkości sprężystej fali podłużnej ze współczynnikiem odkształcenia poprzecznego. Na stronie 58 błędnie skojarzono możliwość wydzielenia podgrup próbek z całej badanej serii z krzywą Wöhlera. Jest to możliwe na podstawie analizy ewolucji uszkodzeń zmęczeniowych w trakcie całego procesu (patrz rys. 9.31). W opisie na stronie 69 podano błędne numery rysunków.

Przedstawiając wyniki pomiarów magnetycznych zwracano uwagę na wstępne właściwości magnetyczne badanych próbek i na tej podstawie dokonano selekcji próbek przeznaczonych do dalszych badań zmęczeniowych. Różnice właściwości magnetycznych badanego materiału to istotny problem i ograniczenie w wykorzystaniu metod magnetycznych do oceny stopnia uszkodzeń zmęczeniowych związane z oddzieleniem wpływu uszkodzeń zmęczeniowych od innych czynników wpływających na właściwości magnetyczne. Jest to istotny problem warunkujący skuteczność zastosowań metod magnetycznych do detekcji i oceny uszkodzeń zmęczeniowych. Zaproponowana w pracy procedura wstępnej selekcji próbek jest ograniczona do badań laboratoryjnych. Rozwiązanie tego problemu w odniesieniu do zastosowań inżynierskich jest sprawą otwartą, a recenzowana rozprawa doktorska nie proponuje w tym względzie przydatnej procedury pomiarowej. Może dobrym rozwiązaniem byłoby poszukiwanie zmian względnych określanych w różnych obszarach wpływu przykładanego pola magnetycznego, co jest logiczne jeśli uwzględnić lokalny charakter uszkodzeń zmęczeniowych.

Celem pracy jest wskazanie parametrów magnetycznych wrażliwych na zmiany stopnia uszkodzeń zmęczeniowych i cel ten został w pracy osiągnięty. We wnioskach końcowych na stronie 85 wskazano kilka takich parametrów bez wyróżniania żadnego z nich. Podjęcie próby dyskusji i ewentualnego rozwiązania tej kwestii byłoby bez wątpienia wartościowym rozszerzeniem pracy.

Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska Pana mgra inż. Michała Szudyga pt. „Diagnozowanie metodą magnetyczną procesów zmęczeniowych stali stosowanej do kół i obręczy kolejowych zestawów kołowych” jest tematycznie kompletna i obejmuje dwa istotne problemy. Pierwszy to analiza rozwoju uszkodzeń zmęczeniowych w odniesieniu do materiałów stosowanych na elementy konstrukcyjne w kolejnictwie. Drugi problem to doświadczalna ocena przydatności metod magnetycznych do pomiaru stopnia uszkodzeń zmęczeniowych dla materiałów stosowanych w kolejnictwie. Zestawienie tych dwóch problemów istotnych dla zwiększenia bezpieczeństwa eksploatacji w kolejnictwie, a zwłaszcza szybkiej kolei jest głównym wątkiem recenzowanej rozprawy doktorskiej, a jej rezultatem końcowym jest wskazanie możliwości detekcji i pomiaru stopnia uszkodzeń zmęczeniowych metodami magnetycznymi. Uważam, że jest to bardzo dobra praca doktorska spełniająca w nadmiarze wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 (art. 17 ust. 1 Dz.U. nr 65/03 poz. 595).

Z całym przekonaniem stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Michała Szudyga pt. „Diagnozowanie metodą magnetyczną procesów zmęczeniowych stali stosowanej do kół i obręczy kolejowych zestawów kołowych” do publicznej obrony.

