

Dr hab. Małgorzata Karolus

Chorzów, 21.12.2018

Instytut Nauki o Materiałach, Uniwersytet Śląski

ul. 75 Pułku Piechoty 1A, 41-500 Chorzów

tel.: (+48) 32 3497 520

e-mail: karolus@us.edu.pl

**Recenzja pracy doktorskiej Pana inż. Bogusza Kani,
pt.: *Wyznaczanie naprężeń I-rzędu z wykorzystaniem dyfrakcji
rentgenowskiej.***

Tematyka pracy doktorskiej Pana inż. Bogusza Kani, pt.: *Wyznaczanie naprężeń I-rzędu z wykorzystaniem dyfrakcji rentgenowskiej*, dotyczy rozwinięcia metodologii pomiarów naprężeń własnych z wykorzystaniem opracowanego przez Autora pakietu oprogramowania Texture-Aided Residual Stress Identification System (TARSİuS).

Zagadnienia opisywane w pracy odnoszą się do bardzo aktualnego i istotnego problemu wyznaczania naprężeń własnych w różnego typu materiałach. Stosowane powszechnie metody rentgenowskie należą do metod wygodnych, nie tylko ze względu na dużą dostępność aparaturową ale również z racji tzw. nieniszczącego charakteru tych badań. W wielu jednostkach badawczych prowadzi się więc różnego typu modyfikacje i rozwiązania metodyczne mające na celu zwiększenie uniwersalności zastosowania tych metod, w szczególności do badania materiałów niehomogenicznych, czyli takich gdzie rozseparowanie informacji dyfrakcyjnej od różnych warstw czy obszarów jest nieoczywiste. Pracę Pana inż. Bogusza Kani można określić jako metodyczną, której podstawowym celem jest rozwinięcie metodologii pomiarów naprężeń własnych na przykładzie zaproponowanej przez Autora procedury. Dlatego też wybór tematyki rozprawy uważam za trafny i wpisujący się w nowoczesny nurt badań w inżynierii materiałowej.

W celu realizacji założeń pracy, Pan inż. Bogusz Kania wykonał szereg pomiarów, opracowań danych eksperymentalnych i analiz, które prezentuje w kolejnych rozdziałach pracy.

Przedstawiona rozprawa liczy 92 strony, 48 rysunków, 24 wzory i 80 pozycji literaturowych, w tym głównie artykuły z wysoko punktowanych czasopism o zasięgu



międzynarodowym, 12 książek i podręczników oraz kilka opracowań i instrukcji. Autor cytuje w pracy również 4 własne artykuły.

Praca rozpoczyna się klasycznie streszczeniem i zarysem motywacji badań, w których Autor zamieszcza krótki opis zagadnień poruszanych w pracy. Dalsza część podzielona jest na kolejne rozdziały zawierające podstawowe informacje i definicje.


Autor rzetelnie i klarownie opisuje stosowaną metodologię i mierzone wielkości oraz charakteryzuje standardową metodę pomiaru naprężeń, tj. metodę $\sin^2\psi$ (rozd. 1) oraz formułuje i analizuje problemy związane z eksperymentalnym ich wyznaczeniem. W rozdziale 1.4 (str. 15) Autor szczegółowo analizuje warunki stosowalności i ograniczenia metody $\sin^2\psi$, które prowadzą do właściwie postawionych problemów interpretacyjnych (str. 22), szczególnie w odniesieniu do analizy materiałów gradientowych i stekstrowanych.

W kolejnym rozdziale zaprezentowano opis nowej – opracowanej przez Autora – metody badawczej (rozd. 2). I tak, w rozdziale 2.2 (str. 26) Autor skupia się na efektach związanych z uwzględnianiem głębokości wnikania promieniowania rentgenowskiego do próbki, a w rozdziale 2.3 (str. 32) na roli tekstury krystalograficznej przy wyznaczeniu naprężeń.

W rozdz. 3.1 (str. 39) scharakteryzowano aparaturę badawczą stosowaną przy realizacji pracy, uwzględniając w opisie wszystkie stosowane modyfikacje sprzętowe. Szkoda tylko, że Autor nie umieścił żadnych zdjęć czy schematów modyfikowanej aparatury a było by to niewątpliwie interesujące dla czytelnika i zarazem wzbogaciłoby samą pracę. W rozdz. 3.2 (str. 45) zaprezentowano założenia i działanie opracowanego przez Autora pakietu oprogramowania Texture-Aided Residual Stress Identification System (TARSIuS) będącego rozwinięciem metodologii pomiarów naprężeń własnych.

Autor zaniechał w pracy umieszczenia osobnego rozdziału charakteryzującego materiał badań. Zamiast tego, w rozdz. 4 zaprezentował wyniki doświadczalnej weryfikacji proponowanej metody wraz z krótkim opisem materiału badań. I tak, w rozdz. 4.1 (str. 51) zaprezentowano wyniki analizy otrzymane dla kompozytowych powłok Ni-Al₂O₃ o grubościach od 2 do 7 μm osadzanych na stalowym podłożu, gdzie analizy oparto na refleksach (311) Ni i (111) Ni.

W kolejnym rozdz. 4.2 (str. 70), przedstawiono wyniki badań stopu cynku wzbogaconego magnezem w ilości 1.5 % wag. Analizę naprężeń oparto na refleksie (002)



Zn. Materiał ten był wybrany ze względu na zależności pomiędzy tensorem naprężeń własnych a orientacją ziaren.

W rozdz. 4.3 (str. 78) natomiast zaprezentowano wyniki otrzymane dla tytanu w stopie Ti6Al4V łączonego ze stopem Al 25-19 w dwu- i wielowarstwowe komponenty.

Całość pracy tradycyjnie kończą rozdziały: Wnioski i Literatura. Dodatkowo Autor zamieścił w pracy suplement zawierający opis głównych funkcji opracowanego przez siebie pakietu oprogramowania TARSIuS.

Praca napisana jest w sposób dość przejrzysty i klarowny aczkolwiek Autor nie stosuje się do ogólnie przyjętych zasad pisania tego typu opracowań co powoduje czasami trudności z odnalezieniem określonych informacji. Przykładowo:

- w spisie treści brakuje odnośników do stron co znacznie utrudnia odszukiwanie interesujących czytelnika treści,
- w spisie literaturowym całkowicie pominięto numerację co praktycznie uniemożliwia korzystanie z niego,
- Autor stosuje też nietypowo dla tego typu prac przypisy, w których - niejako na marginesie - wyjaśnia określone pojęcia i procedury. Zabieg ten, wprawdzie niecodzienny, ale sprawdzający się w praktyce, gdyż czytelnik na bieżąco może uzupełniać swoją wiedzę dotyczącą aktualnie prezentowanego zagadnienia,
- w podpisach pod rysunkami Autor oprócz typowego komentarza umieszcza rozbudowany tekst dotyczący analizy prezentowanych wyników, wykresów, wniosków etc.
- w pracy brakuje też zamieszanego zazwyczaj rozdziału typu: „Spis oznaczeń i skrótów” czy też załączników w postaci spisu rysunków. To ostatnie ułatwiłoby studiowanie pracy. Autor bowiem stosuje ciągłą numerację rysunków, bez rozgraniczenia na rozdziały.
- rozdział 5 „Wnioski” w istocie jest raczej krótkim podsumowaniem wyników pracy.

Niemniej jednak, należy stwierdzić, iż czytelnik szybko przyzwyczaja się do proponowanej przez Autora, nowatorskiej formy pracy. Skutkiem czego, jej układ można uznać za przejrzysty i klarowny.

Stronę merytoryczną pracy, pomimo wspomnianych uwag, oceniam pozytywnie, aczkolwiek Autor nie ustrzegł się pewnych niedociągnięć i drobnych błędów redakcyjnych, których szczegółowo tutaj nie wymieniam z uwagi na ich małe znaczenie. Tylko dla przykładu, podaję niektóre z nich:

Kalden

- nieścisłości terminologiczne takie jak np. stosowanie wyrażenia „naświetlanie promieniowaniem”: str. 15 lub inny przykład „dyfraktujące płaszczyzny”: str. 15 czy też „dyfraktujące ziarna”: str. 20, 33 itd. – gdzie można by raczej użyć zwrotu „spełniające warunki dyfrakcji płaszczyzny”,
- również literatura jest mało przejrzysto cytowana: str. 33, 35 itd.

Oprócz wspomnianych powyżej zastrzeżeń typu ogólnego, szerszego komentarza wymaga kompletność prezentowanej pracy.

Teza pracy, o ile ją sami sformułujemy, dotyczy dość oczywistego stwierdzenia, że klasyczna metoda wyznaczania naprężeń własnych $\sin^2 \psi$ nie daje wiarygodnych wyników w odniesieniu do materiałów niejednorodnych i gradientowych. Wiadomo, co zresztą Autor sam przytacza, że w miarę pochylania próbki w trakcie eksperymentu, zmienia się głębokość wnikania czyli prowadzona analiza naprężeń dotyczy różnych obszarów próbki. Trudność interpretacyjna takich analiz polega na konieczności rozseparowania informacji pochodzących od różnych obszarów. Trzeba tutaj zauważyć, że Autor podjął się w swojej pracy doktorskiej zadania bardzo szczegółowego przygotowania eksperymentu i zaprojektowania odpowiednio niejednorodnego materiału badań by zweryfikować stosowalność własnej procedury badawczej w tego typu przypadkach.

W moim odczuciu w pracy brakuje pełnej charakterystyki materiału badań i jednoznacznie sformułowanych kilku wniosków wynikających z przeprowadzonych analiz.

Zważywszy na fakt, iż w pracy prezentowana jest nowa metodologia wyznaczania naprężeń w materiałach niejednorodnych, wydaje się być uzasadnionym przeprowadzenie analizy porównawczej z zastosowaniem alternatywnej metody czyli np. metody $g\text{-}\sin^2 \psi$ opracowanej i rozwiniętej przez A. Baczmańskiego i S. Skrzypka, których zresztą prace Autor cytuje. Wykonanie takich analiz i porównań nie tylko wzbogaciło by pracę ale również zweryfikowało stosowalność nowej metodologii.

Wszystkie przedstawione uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny i nie wpływają na pozytywną ocenę merytoryczną pracy doktorskiej Pana inż. Bogusza Kani. Ilość cennych informacji teoretycznych i wyników własnych potwierdza, że Autor dogłębnie przestudiował literaturę i swobodnie porusza się w tematyce dotyczącej teorii i metodologii związanej z pomiarami naprężeń.

Keldu

W podsumowaniu należy stwierdzić, że Pan inż. Bogusz Kania otrzymał wartościowe wyniki. Wykazał się umiejętnością prawidłowego zaprojektowania eksperymentów, interpretacji uzyskanych wyników oraz wyciągnięcia odpowiednich wniosków. Biegłe posługuje się też aparatem matematycznym oraz w przejrzysty sposób prezentuje stosowane procedury obliczeniowe. Za szczególnie interesujące osiągnięcia pracy uważam:

1. Opracowanie pakietu TARSIuS (rozdz. 3.2: str. 35), który przeznaczony jest do badania materiałów niejednorodnych, dla których otrzymanie jednoznacznych wyników za pomocą metod tradycyjnie stosowanych często jest utrudnione bądź wręcz niemożliwe. W suplemencie do pracy (str. 91) Autor przedstawia główne funkcje pakietu TARSIuS, gdzie po kolei charakteryzuje kolejne etapy postępowania przy stosowaniu opracowanej przez siebie procedury, tj.:

- etapy projektowanie badania dyfrakcyjnego,
- elementy realizacji badań dyfrakcyjnych,
- etapy analizy danych doświadczalnych i ostatecznie
- możliwości wizualizacji rezultatów.

Co warto podkreślić, Autor deklaruje również intencję upowszechnienia proponowanej przez siebie metody badawczej, co niewątpliwie jest cennym elementem jego pracy.

2. Bardzo trafna w moim przekonaniu jest również, stosowana w pracy forma wizualizacji wyników analizy stanu naprężeń w badanych materiałach prezentowana w postaci diagramów biegunowych. Wykresy takie dają pogląd o rozkładzie naprężeń dla wszystkich kierunków wokół punktu pomiarowego (np. rys. 26, str. 50).

3. Autor trafnie wykazuje możliwość zastosowanie swojej procedury do analizy materiałów niejednorodnych i takich gdzie na stan naprężeń warstwy zasadniczej wpływa – zaburzając wyniki – podłoże materiału.

W związku z powyższym w stwierdzam, że recenzowana praca spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone ustawą o stopniach i tytułach naukowych i wnioskuję o dopuszczenie Pana inż. Bogusza Kanię do publicznej obrony przed Radą Naukową Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie.

Małgorzata Kordus