Wyznaczanie naprężeń I-rzędu z wykorzystaniem dyfrakcji rentgenowskiej

Bogusz Kania

Streszczenie

Wiele materiałów wykazuje złożony i niejednorodny stan naprężeń własnych, bezpośrednio wpływający na ich zachowanie w czasie eksploatacji. Praca przedstawia oryginalną metodę wyznaczania stanu naprężeń materiałów polikrystalicznych za pomocą dyfrakcji rentgenowskiej. Proponowane podejście stanowi połączenie geometrycznej kontroli głębokości wnikania promieniowania w badany materiał z (wykorzystującym znajomość tekstury krystalograficznej próbki i procedurę najmniejszych kwadratów) ogólnym dopasowaniem poszukiwanego tensora naprężenia do zmierzonego dyfrakcyjnie tensora odkształcenia materiału. Stosowane techniki obliczeniowe pozwalają na rejestrację danych pomiarowych przy znacznie większej swobodzie orientowania wektora dyfrakcji względem powierzchni próbki, niż w standardowej metodzie sin2ψ. Umożliwia to prowadzenie pomiarów i analiz niedostępnych dla klasycznych technik badania stanu naprężeń, istotnie poszerzając możliwości badawcze wykorzystywanej aparatury naukowej. Szczególne zastosowanie proponowana metoda znajduje w analizie stanu naprężeń cienkich (1 ÷ 20 μm) warstw funkcjonalnych i materiałów gradientowych, gdzie kontrola głębokości, z której pochodzi sygnał dyfrakcyjny, może być kluczowa dla prawidłowej identyfikacji wartości naprężeń cechujących rozpatrywaną próbkę. Prezentowane podejście oferuje również kryterium identyfikacji niejednorodności stanu naprężeń lub tekstury krystalograficznej w danych pochodzących z pomiarów o zmiennej głębokości wnikania promieniowania w materiał. Pozwala to na podjęcie decyzji o przeprowadzeniu badań tomograficznych dla danej próbki, eliminując ewentualne błędy w interpretacji wyników standardowych pomiarów. Proponowana metoda umożliwia także badanie zależności tensora naprężenia od orientacji krystalograficznej dyfraktujących grup ziaren, bez konieczności stosowania modeli opisujących sprężysto-plastyczne zachowanie próbki. Wymienione możliwości pomiarowe i analityczne zawarte zostały w stworzonym oprogramowaniu komputerowym o nazwie TARSIuS: Texture-Aided Residual Stress Investigation System, za pomocą którego opisywana metoda badawcza wdrożona została w Laboratorium Dyfrakcji Rentgenowskiej IMIM PAN. Przygotowane oprogramowanie służyć może implementacji opracowanych technik w innych laboratoriach, stosujących dyfrakcję rentgenowską w badaniach materiałowych. Dzięki umożliwionej przez program TARSIuS częściowej automatyzacji zadań pomiarowych i wydajnym procedurom obróbki danych, prezentowana metoda badawcza ma znaczenie praktyczne.

Abstract

Many materials exhibit a complex and heterogeneous state of residual stress which directly affects their properties during exploitation. The thesis presents an original method of determining the stress state of polycrystalline materials using X-ray diffraction. The proposed approach is a combination of geometrical controlling of the depth of penetration of radiation into the investigated material with a general least-squares fitting of the stress tensor to the diffractively measured strain tensor of the specimen. Knowledge about crystallographic texture of the sample can also be involved into measurement and analytical procedure. The applied calculation techniques allow a flexible orientation of the diffraction vector relatively to the specimen surface, contrary to the sin2ψ method, where constant direction of diffraction vector tilting is necessary. Such flexibility in the measurement scheme significantly broadens the research capabilities of particular scientific equipment. Important field for application of the proposed method is analysis of thin (1 ÷ 20 μm) functional coatings and gradient materials, where controlling the depth of origin of the diffraction signal may be crucial for proper identification of the stress values. Developed approach also offers a criterion for identification of inhomogeneity of stress state or crystallographic texture, which inhomogeneity can be then tracked in the data from standard measurements with variable radiation penetration depth. This makes possible to decide if tomographic measurements should be carried out for a given specimen, eliminating possible errors related with the use of standard investigations. The proposed method allows also a studying of stress tensor dependence on the crystallographic orientation of diffracting groups of grains, without applying the models describing elastic-plastic behavior of the material. These measurement and analytical capabilities have been wrapped into the prototype of a computer software called TARSIuS: Texture-Aided Residual Stress Investigation System. With the use of TARSIuS, the developed method has been implemented in the X-ray Diffraction Laboratory of IMIM PAN. This prototype software can be used for the application of the proposed techniques in other laboratories that use X-ray diffraction in material testing and investigation. Partial automation of measurement tasks and efficient data processing offered by TARSIuS make presented research method practically significant.

Recenzja - Prof. A. Baczmański

Recenzja - Prof. M. Karolus