

Streszczenie rozprawy doktorskiej

“Diffraction study of deformation process for selected groups of grains and different phases in polycrystalline materials”

W niniejszej pracy rozwinięto eksperymentalną metodologię wyznaczania naprężeń w materiałach polikrystalicznych przy pomocy dyfrakcji neutronów z zastosowaniem techniki pomiaru czasu przelotu. Badania prowadzone były głównie na dyfraktometrze EPSILON-MSD w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych w Dubnej (Rosja). Przyrząd ten pozwolił wykonać pomiary odkształceń sieci krystalicznej jednocześnie w 9 różnych kierunkach wektora rozpraszania. Aby efektywnie opracować dużą ilość danych pomiarowych, przygotowano kilka programów umożliwiających analizę wyników. Pomiary prowadzone były *in situ* podczas mechanicznego i termicznego obciążania próbek. W celu zminimalizowania błędu systematycznego przyrosty naprężeń obliczane były na podstawie względnych odkształceń sieci krystalicznej. Badania dotyczyły dwóch materiałów: kompozytu Al/SiC_p uzyskanego metodą spiekania proszków, gdzie domieszka węglika krzemu wynosiła 17,8% oraz walcowanego na gorąco stopu magnezu AZ31. Dyfrakcyjna technika czasu przelotu neutronów umożliwiła wyznaczenie naprężeń w każdej z faz kompozytu oraz zastosowanie metody grup krystalitów w przypadku próbki ze stopu magnezu. Dla próbki kompozytowej pomiary *in situ* przeprowadzone zostały podczas próby ściskania, a w pracy wykorzystano również wyniki poprzednich pomiarów przeprowadzonych w różnych temperaturach. Pomiary dotyczące magnezu przeprowadzone zostały dla testu ściskania w kierunku walcowania i kierunku normalnym. Wykorzystano i przeanalizowano również pomiary wykonane w Laboratorium Fizyki Neutronowej (NPI, Řež koło Pragi, Czechy) podczas testu rozciągania w kierunku walcowania. Ważnym osiągnięciem pracy jest opracowanie metodologii selektywnej analizy naprężeń w dwóch fazach oraz dla różnych orientacji krystalitów na podstawie pomiarów przeprowadzonych w wielu kierunkach i za pomocą różnych refleksów *hkl*. Wyniki analizy danych pochodzących bezpośrednio z eksperymentów zostały skonfrontowane z wynikami modelu samouzgodnionego, w wyniku czego uzyskano dobrą zgodność modelu z pomiarami.

Pierwsza część pracy dotyczy analizy wyników pomiarów przeprowadzonych dla kompozytu Al/SiC_p. Zbadano zjawisko powstawania naprężeń własnych między ziarnami SiC i matrycą ze stopu Al podczas chłodzenia odpowiadającego warunkom produkcji kompozytu. Zjawisko to wynika ze znaczącej różnicy współczynników rozszerzalności temperaturowej obu faz. Naprężenia termiczne w fazach poprawnie przewidziane zostały przez termomechaniczny model samouzgodniony (TMSC). Pomiary *in situ* podczas próby ściskania

kompozytu Al/SiC_p pozwoliły na zbadanie zmian naprężeń w poszczególnych fazach. Pokazano, że w zakresie sprężystym naprężenia dewiatoryczne zlokalizowane na ziarnach SiC są znacznie większe niż w aluminiowej matrycy. Różnica między obciążeniem węgla krzemu w porównaniu z obciążeniem matrycy znacząco rosła, gdy aluminium odkształcało się plastycznie. W zakresie tym nastąpiła również relaksacja naprężeń termicznych, których średnie wartości dla obu faz mają charakter hydrostatyczny. Zachowanie to zostało wytłumaczone przy pomocy zmodyfikowanego samouzgodnionego modelu termomechanicznego (DTMSC).

Drugą część pracy stanowią wyniki badań przeprowadzonych w celu wyjaśnienia silnej anizotropii odpowiedzi stekstrowanych próbek ze stopu magnezu (AZ31) na przyłożone siły zewnętrzne. Pomimo izotropowych stałych sprężystości krystalitów, zachowanie elastoplastyczne próbek zależało od kierunku i charakteru przyłożonego obciążenia. Badane próbki wycięte z walcowanej na gorąco blachy posiadały silną teksturę z dominującą składową bazalną (0001). Pomiary wykazały wyższą granicę plastyczności i większe umacnianie się materiału podczas ściskania w kierunku normalnym w porównaniu ze ściskaniem lub rozciąganiem w kierunku walcowania. Ponadto, podczas próby ściskania w kierunku walcowania, wystąpiło zjawisko bliźniakowania z charakterystycznym zakresem plateau na makroskopowej zależności naprężenia od odkształcenia.

By wytłumaczyć tak charakterystyczne zachowanie próbek magnezowych, wykorzystano pomiarową metodę grup krystalitów, która pozwoliła zbadać lokalizację naprężeń na ziarnach posiadających różne orientacje sieci krystalicznej. Różne obciążenia próbki w połączeniu z silną teksturą spowodowały bardzo różne zachowanie się krystalitów. Wyodrębnić można 4 grupy ziaren: twarde, pośrednie, miękkie oraz ziarna, dla których zachodzi bliźniakowanie. Dla grup tych występują różne sekwencje aktywności systemów poślizgu i bliźniakowania. Przy pomocy dyfrakcyjnych pomiarów *in situ*, podczas prób ściskania i rozciągania, zmierzono ewolucję składowych naprężeń dla poszczególnych grup ziaren różniących się orientacjami. Znajomość tensora naprężeń pozwoliła również na wyznaczenie wartości naprężeń ścinających (RSS) na wszystkich systemach poślizgu i systemie bliźniakowania wraz z ich niepewnościami. Na podstawie zmian tych naprężeń, podczas przeprowadzonych testów, wyznaczone zostały krytyczne wartości naprężeń ścinających (CRSS) potrzebnych do uruchomienia systemów poślizgów i bliźniakowania. Przeprowadzono również analizę niepewności wyznaczonych wartości.

Zmierzone wartości CRSS zostały użyte jako dane wejściowe modelu samouzgodnionego deformacji elastoplastycznej (EPSC). Zmniejszyło to liczbę parametrów, które muszą być zoptymalizowane, aby dopasować wyniki modelu do eksperymentalnie wyznaczonych odkształceń sieci krystalicznej. Obliczenia stały się przez to bardziej jednoznaczne i pozwoliły między innymi zweryfikować założenia dotyczące procesu tworzenia bliźniaków oraz oddziaływania między ziarnami. Wyznaczone w tej pracy parametry modelu zweryfikowane zostały również dla zestawu próbek poddanych ściskaniu w różnych kierunkach. W niniejszej pracy po raz pierwszy została przeprowadzona analiza pozwalająca

na wyznaczenie wszystkich wartości CRSS, wraz z niepewnościami, bezpośrednio z eksperymentu i bez założeń modelowych.