

Idea projektu polega na połączeniu trzech dotychczas rozłącznych teorii: płynięcia plastycznego metali, kontynuualnej mechaniki uszkodzeń, oraz mechaniki pękania w jedną teorię, opisującą zjawisko pękania materiałów w ekstremalnie niskich temperaturach w sposób kompleksowy. Wynikiem projektu ma być zbudowanie fizycznie uzasadnionego, wieloskalowego modelu makroszczeliny propagującej w materiale, z uwzględnieniem sprzężenia termomechanicznego, wynikającego ze szczególnej właściwości materiałów polegającej na zmierzaniu do zera ciepła właściwego wraz z temperaturą. Sprzężenie termomechaniczne polega na wywołanych płynięciem plastycznym oscylacjach temperatury, które determinują wzbudzenie sieci krystalicznej i mobilność dyslokacji. Propagacja makroszczeliny zachodzi w warunkach ciągłego lub nieciągłego płynięcia plastycznego, oraz tworzenia się w czole szczeliny pól mikrouszkodzeń wraz z inkluzjami fazy wtórnej powstającymi w wyniku bezdyfuzyjnej przemiany fazowej typu fcc-bcc.

Zasadniczym celem naukowym projektu jest stwierdzenie w jaki sposób występująca w czole makroszczeliny ewolucja mikro-uszkodzeń oraz indukowana odkształceniem plastycznym przemiana fazowa, wpływają na szybkość propagacji makroszczeliny w ekstremalnie niskich temperaturach (z uwzględnieniem okolic absolutnego zera). Czy występujące w czole makroszczeliny pola mikrouszkodzeń przyspieszają jej rozwój? Czy występująca w czole makroszczeliny przemiana fazowa spowalnia jej rozwój? Wpływ pola mikrouszkodzeń jest bowiem niekorzystny, natomiast wpływ przemiany fazowej wydaje się być korzystny dla spowolnienia rozwoju szczeliny. Który efekt jest zatem dominujący i w jakich warunkach? Chodzi zatem o zbadanie, w jakim stopniu przemiana fazowa kompensuje niekorzystny wpływ pól mikrouszkodzeń powstających w czole szczeliny.

Kolejnym istotnym elementem badań jest stwierdzenie, czy tzw. nieciągłe płynięcie plastyczne, polegające na makroskopowym poślizgu w sieci krystalicznej wynikającym z przełamania barier przez spiętrzenia dyslokacji, może indukować nieciągłą propagację makroszczeliny. Eksperymenty zdają się potwierdzać tę hipotezę. Tak więc ewolucja makroszczeliny może mieć charakter skokowy, skorelowany z oscylacjami naprężenia w funkcji odkształcenia w czasie nieciągłego płynięcia plastycznego.

Badania obejmują eksperymenty prowadzone w ekstremalnie niskich temperaturach, z wykorzystaniem ciekłego azotu (77K), ciekłego helu (4.2K), oraz nadciekłego helu (1.9K), w warunkach obciążeń złożonych polegających na jednoczesnym rozciąganiu i skręcaniu próbki. Tego rodzaju testy są całkowicie unikalne, a aparatura do realizacji obciążeń złożonych jest oryginalnym pomysłem grupy projektowej, i według dotychczasowej wiedzy nie istnieje nigdzie w świecie. Unikalna aparatura badawcza zawiera dedykowany kriostat z wyposażeniem umożliwiającym realizację monotonicznych i cyklicznych obciążeń, z uwzględnieniem ścieżek proporcjonalnych i nieproporcjonalnych. Eksperymenty z użyciem nadciekłego helu (kondensat Bose-Einsteina, 1.9K) zostaną przeprowadzone we współpracy z Europejską Organizacją Badań Jądrowych, CERN, w Genewie.

Kolejna część projektu obejmuje opracowanie modelu matematycznego makroszczeliny, który będzie uwzględniał występujące w czole szczeliny pola sprzężone: pole odkształceń plastycznych, pole mikrouszkodzeń oraz pole naprężeń wynikające z indukowanej odkształceniem plastycznym bezdyfuzyjnej przemiany fazowej. Do opisu zostanie zastosowany wieloskalowy, fizycznie uzasadniony, wieloosiowy model konstytutywny metastabilnego materiału sprężysto-plastycznego z nieliniowym wzmocnieniem kinematycznym i izotropowym. Model zostanie wykorzystany do opisu zjawisk zachodzących w pobliżu czoła makroszczeliny, w kontekście inicjacji i propagacji szczeliny w ekstremalnie niskich temperaturach.

Opis mechanizmów pękania (inicjacji i ewolucji makroszczeliny) z uwzględnieniem sprzężonych zjawisk dyssypatywnych zachodzących w pobliżu czoła szczeliny, ma znaczenie poznawcze, oraz istotne znaczenie dla projektowania urządzeń pracujących w ekstremalnie niskich temperaturach: nowoczesnych załogowych i bezzałogowych stacji kosmicznych, badawczych i diagnostycznych instrumentów naukowych, nadprzewodzących akceleratorów cząstek elementarnych, magnesów nadprzewodzących do badań w zakresie rezonansu magnetycznego, nadprzewodzących linii transferu energii, etc. Analiza form pękania materiałów w warunkach kriogenicznych pozwoli na poszerzenie zakresu stosowalności obecnie wykorzystywanych materiałów, oraz podniesienie poziomu bezpieczeństwa urządzeń pracujących w ekstremalnie niskich temperaturach.