

POPULARNONAUKOWE STRESZCZENIE PROJEKTU

W nowoczesnych nadprzewodnikach niskotemperaturowych składających się z jednokierunkowych włókien umieszczonych w osnowie miedzianej, podczas deformacji w temperaturach bliskich absolutnego zera zaobserwowano zjawiska fizyczne o charakterze dyssypatywnym, tj. nieciągłe płynięcie plastyczne (DPF) oraz efekt typu stick-slip.

Ze względu na fakt, że zjawiska te mogą wpłynąć na stan nadprzewodzenia, pojawiła się konieczność zbadania w warunkach laboratoryjnych ich mechanizmów, zarówno dla osnowy jak i jednokierunkowych włókien nadprzewodnika (DPF) oraz dla strefy ich kontaktu (efekt typu stick-slip). Przeprowadzona analiza doświadczalna oraz mikrostrukturalna pozwoli na prawidłowe zrozumienie mechanizmów DPF oraz efektu stick-slip a następnie na budowę modeli matematycznych (konstrytywnych) opisujących badane zjawiska oraz zachodzące pomiędzy nimi sprzężenie.

W ramach projektu zostanie przeprowadzona seria testów próbek wykonanych z kompozytu nadprzewodnikowego zawierającego jednokierunkowe włókna (np. NbTi/Cu, Nb₃Sn/Cu) w temperaturze ciekłego helu (4.2K), w temperaturze ciekłego azotu (77K) oraz w temperaturze pokojowej. Testy wymagające skomplikowanej aparatury pomiarowej zostaną przeprowadzone na istniejącym na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej stanowisku eksperymentalnym, które pozwala na badania wytrzymałościowe materiałów w szerokim zakresie temperatury. Podczas testów próbka zamontowana w kriostacie wypełnionym medium kriogenicznym (ciekły hel, ciekły azot) zostanie poddana obciążeniom. Przewiduje się pomiar wydłużenia próbki za pomocą ekstensometrów typu „clip-on”. Za pomocą czujnika siły umieszczonego bezpośrednio za próbko możliwy będzie pomiar siły. Na badanej próbce zamontowany będzie również czujnik/czujniki do pomiaru temperatury (istotne ze względu na niestabilność termodynamiczną materiału podczas DPF w temperaturze bliskiej absolutnego zera). Analiza zjawiska DPF oraz efektu stick-slip obejmować będzie również badanie mikrostruktury kompozytu, osnowy włókien oraz strefy ich kontaktu. Dodatkowo, podjęta zostanie próba śledzenia lokalizacji odkształceń podczas DPF za pomocą przetworników akustycznych zamontowany wokół próbki.

W oparciu o wyniki analizy doświadczalnej, zostanie przygotowany wieloskalowy model konstrytywny DPF, z uwzględnieniem efektów na poziomie: mikroskopowym, mezoskopowym oraz makroskopowym.

1. Poziom mikroskopowy: analiza zjawisk zachodzących w sieci krystalicznej uwzględniająca tworzenie oraz ruch dyslokacji, poślizgi wewnątrz sieci krystalicznej, kwantowy mechanizm transportu ciepła oraz niestabilność termodynamiczną w temperaturze bliskiej absolutnego zera.
2. Poziom mezoskopowy: budowa reprezentatywnego elementu uwzględniającego mikrostrukturę badanych materiałów, w których zachodzi zjawisko DPF.
3. Poziom makroskopowy: modelowanie kontynualne ośrodka podlegającego zjawiskom nieciągłego płynięcia plastycznego oraz ciągłego płynięcia z uwzględnieniem mechanizmów dyssypatywnych makroskopowych poślizgów plastycznych w osnowie oraz we włóknach.

Mechanizm dyssypatywny związany z poślizgiem włókna względem osnowy (efekt stick-slip) zostanie opisany osobnymi równaniami matematycznymi. Podjęta zostanie próba uwzględnienia w opisie matematycznym (konstrytywnym) sprzężenia, jakie zachodzi pomiędzy wymienionymi zjawiskami.

Identyfikacja parametrów modelu DPF i efektu typu stick-slip zostanie dokonana na podstawie wyników badań eksperymentalnych. Przewiduje się również, przygotowanie modeli numerycznego zjawisk zachodzących w kompozytowych nadprzewodnikach obciążonych poniżej temperatury krytycznej (T_0 , T_1). Walidacja modeli numerycznych zostanie przeprowadzona również w oparciu o rezultaty analizy doświadczalnej.

Wyniki analizy teoretycznej oraz eksperymentalnej uzyskane w ramach przeprowadzonego projektu pozwolą lepiej zrozumieć zjawiska, jakie zachodzą w nadprzewodnikach w temperaturach bliskich absolutnego zera. Niskotemperaturowe nadprzewodniki stosowane są w układach: magnesów nadprzewodzących wchodzących w skład akceleratorów cząstek elementarnych, termojądrowych reaktorów, nadprzewodnikowych zasobników energii. Te nowoczesne materiały nadprzewodzące zostały również wykorzystane w budowie magnetycznego spektrometru Alpha, który został wysłany na Międzynarodową Stację Kosmiczną w 2011 roku w celu poszukiwania dowodów istnienia ciemnej materii. We wszystkich wymienionych przykładach temperatura pracy elementów wykonanych z nadprzewodników niskotemperaturowych zbliżona jest do zera bezwzględego. Analiza zjawisk DPF oraz efektu typu stick-slip, jakie zachodzą w nadprzewodniku, oraz związana z nimi dyssypacja energii oraz niestabilność termodynamiczna materiału, powinny być uwzględnione w etapie projektowania wymienionych układów. Jest to konieczne ze względu na zapewnienie prawidłowego funkcjonowania nadprzewodników pod kątem stabilności stanu nadprzewodzenia w tak ekstremalnych warunkach.