

Wytrzymałość materiału zależy od jego mikrostruktury, a ta z kolei może być kontrolowana w trakcie procesów technologicznych. Dotychczas znane mechanizmy umocnienia takie jak obróbka plastyczna na zimno, obróbka cieplna lub cieplno-plastyczna może zmieniać wytrzymałość materiału w przewidywalny, znany i dokładnie przebadany sposób. Wzmocnienie w dużym stopniu zależy od charakterystycznych wymiarów mikrostruktury (np. rozmiarów ziaren, czy gęstości dyslokacji). Zatem można powiedzieć, że skala mikro oraz nano kontroluje właściwości materiału obserwowane przez nas w skali makro. Do niedawna myślano, że właściwości te nie zależą od wielkości próbki. Jednakże w ostatnich latach wykonano wiele eksperymentów, które podważają te założenie. Okazuje się bowiem, że wraz ze zmniejszaniem się rozmiarów próbek materiał zaczyna być mocniejszy. Efekt „małe jest mocniejsze” został nazwany efektem skali. Zrozumienie tego zjawiska nie jest jeszcze niestety pełne i ciągle jest obiektem szerokiego zainteresowania ze strony środowiska naukowego. Można wyróżnić dwa rodzaje efektów skali: zewnętrzne efekty skali (wytrzymałość materiału zmienia się wraz ze zmniejszaniem się zewnętrznych wymiarów próbek) oraz wewnętrzne efekty skali (wytrzymałość materiału zmienia się wraz ze zmniejszaniem się np. ziaren w metalu). Niezbędne jest zatem zrozumienie obydwu efektów, mechanizmów ich powstawania oraz ewentualnego ich sprzężenia, które może doprowadzić do produkcji nanostruktur o zaskakujących właściwościach.

Interesującym przykładem materiałów, na których można prowadzić badania efektów skali są materiały nanokrystaliczne. Są to materiały polikrystaliczne (złożone z wielu ziaren), których ziarna są rozmiarów kilku do kilkunastu nanometrów. Te materiały wypełniają lukę pomiędzy materiałami amorficznymi (bez żadnego uporządkowania atomów czy cząsteczek) i konwencjonalnych materiałów np. metali o dużych, widocznych często gołym okiem ziarnach. Dokładna graniczna wielkość ziaren dla materiałów nanokrystalicznych nie jest zdefiniowana. Zazwyczaj wynosi ona około 100 nm. W projekcie zakładamy, że zmiana zewnętrznych wymiarów próbek oraz wewnętrznych wymiarów (np. wielkości ziarna) może prowadzić do materiału o bardzo dużej wytrzymałości. Należy jednak odpowiedzieć na kilka pytań np.: jakie są zewnętrzne i wewnętrzne wymiary, które dadzą największą wytrzymałość materiału, jaka jest największa wytrzymałość materiału jaką da się osiągnąć?, czy wytrzymałość materiału jest prostą sumą zewnętrznego i wewnętrznego efektu skali, czy może występuje jakieś sprzężenie między nimi?

W celu odpowiedzi na te pytania użyte zostaną skomplikowane urządzenia badawcze i metody pomiarowe. Najbardziej istotnym urządzeniem dla tego projektu jest mikroskop sił atomowych (atomic force microscope AFM). Jest to bardzo silny mikroskop, który pozwala na rejestrowanie obrazów o wysokiej rozdzielczości (bardzo dużym powiększeniu) dla wielu różnych rodzajów próbek. Technika ta polega na skanowaniu próbki przy pomocy bardzo ostrej końcówki, w sposób podobny do skanowania płyty winylowej w gramofonie. Obraz powierzchni jest tworzony linia po linii, a cała procedura zajmuje około 10 minut. Pozycja ostrza jest dokładnie mierzona przy pomocy wiązki lasera, która jest skupiona na odbijającej powierzchni dźwigni pomiarowej. Jeżeli ostrze wjedzie na wyniosłość na próbce, dźwignia pomiarowa się wygnie, a wiązka lasera padnie na inną część fotodetektora. Zmieni się sygnał napięciowy, a sprzężenie zwrotne odpowiednio obniży skaner i próbkę. W ten sposób siła wywierana na powierzchnię przez ostrze utrzymuje stałą wartość.

AFM może zostać również użyty do wywierania sił na małe struktury na badanej powierzchni w celu wykonywania doświadczeń nanomechanicznych. Np. siły mogą być wywierane przez ostrze pomiarowe na kolumny o rozmiarach rzędu kilkudziesięciu nanometrów. W tym przypadku skręcenie dźwigni pomiarowej jest istotne i jest mierzone również dzięki wiązce lasera w czasie trwania eksperymentu. Możliwe jest zatem zginanie takich nanokolumn i wywieranie sił na tyle dużych, że kolumny mogą zostać złamane. Takie podejście umożliwia wyznaczanie właściwości mechanicznych materiału, z którego kolumny są wykonane. Możliwe jest zatem wytworzenie kolumn o różnych wymiarach i z materiału o różnej wielkości ziaren, a następnie badanie odpowiednich właściwości mechanicznych i efektów skali.