

Nanoadhezja w przyrodzie i technice

Arkadiusz Ptak

Instytut Fizyki, Politechnika Poznańska, arkadiusz.ptak@put.poznan.pl

Adhezja jest powszechnie występującym zjawiskiem polegającym na łączeniu się warstw wierzchnich dwóch ciał lub faz. Odgrywa istotną rolę w wielu procesach biologicznych, jak rozpoznawanie otoczenia przez receptory komórkowe czy łączenie komórek w zespoły, np. tkanki. Spektakularnym jest jej wykorzystywanie w układach motorycznych niektórych zwierząt, np. pająka lub gekona, potrafiącego poruszać się po gładkich pionowych powierzchniach. Zjawisko adhezji wykorzystywane jest w wielu gałęziach przemysłu (kleje, farby, lakiery, materiały kompozytowe, środki smarne itd.), a także w medycynie (pokrycia implantów, kapsułki farmaceutyczne) i stomatologii (wypełnienia, pokrycia ochronne).

Pomimo że zjawisko adhezji badane jest od kilkudziesięciu lat, jak dotąd nie ma spójnej koncepcji jego opisu. Wynika to głównie z faktu, że za adhezję odpowiedzialnych jest wiele różnych oddziaływań, jak siły van der Waalsa, siły kapilarne, oddziaływania elektrostatyczne, wiązania wodorowe czy nawet sporadyczne wiązania walencyjne, których udział w całkowitej sile adhezji jest trudny do oszacowania [1]. Rozróżnienie oddziaływań odpowiedzialnych za obserwowaną wypadkową adhezję jest jednym z kluczowych wyzwań stojących przed naukowcami różnych dyscyplin badającymi adhezję. Kluczem do zrozumienia tego złożonego zjawiska wydaje się być badanie adhezji w skali nanometrowej (nanoadhezji). Po pierwsze, w nanoskali łatwiej jest opisać ilościowo wiązania adhezyjne; a po drugie, ze względu na duży stosunek powierzchni do objętości oddziałujących ciał, udział adhezji we wzajemnym oddziaływaniu ciał staje się dominujący.

Narzędziem idealnie nadającym się do badania nanoadhezji jest mikroskop sił atomowych (AFM) pracujący w trybie spektroskopii sił. Tryb ten polega na rejestrowaniu i analizie tzw. charakterystyk siłowych, czyli zależności siły mierzonej przez ugięcie mikrodźwigni AFM od przemieszczenia skanera piezoelektrycznego w kierunku osi z. Analiza charakterystyki siłowej może dostarczyć informacji o właściwościach mechanicznych badanego materiału, jednak należy pamiętać, że charakterystyka ta nie odzwierciedla w pełni potencjału oddziaływania ostrze-próbka, który determinuje zjawisko adhezji.

Rozwinięciem metody jest tzw. dynamiczna spektroskopia sił (DFS), czyli rejestrowanie charakterystyk siłowych przy różnych szybkościach separacji ostrza od próbki. W celu efektywnego zastosowania metody DFS, fabryczny AFM powinien zostać zmodyfikowany, by powiększyć zakres dostępnych szybkości separacji ostrza i próbki o kilka rzędów wielkości [2]. Analiza zależności siły adhezji od szybkości przykładania siły zrywającej za pomocą modelu Bella-Evansa [3,4] pozwala uzyskać informację na temat kinetyki zrywania pojedynczego wiązania adhezyjnego i położenia bariery aktywacji. Zastosowaliśmy ten model do analizy nanoadhezji pomiędzy ostrzem AFM a samoorganizującymi się warstwami tioli [5,6] i silanów [7]. Obecnie stosujemy bardziej złożony model teoretyczny [8], pozwalający wyznaczyć również wartość energii bariery aktywacji.

[1] K. W. Allen, *Int. J. Adh. Adh.* **23**, 87–93 (2003).

[2] A. Ptak, M. Kappl, H.-J. Butt, *Appl. Phys. Lett.* **88**, 263109-263111 (2006).

[3] G. I. Bell, *Science* **200**, 618-627 (1978).

[4] E. Evans, K. Ritchie, *Biophys. J.* **72**, 1541-1555 (1997).

[5] A. Ptak, M. Kappl, S. Moreno-Flores, H. Gojzewski, H.-J. Butt, *Langmuir* **25**, 256–261 (2009).

[6] H. Gojzewski, M. Kappl, A. Ptak, and H.-J. Butt, *Langmuir* **26**, 1837-1847 (2010).

[7] A. Ptak, M. Makowski, M. Cichomski, *Chem. Phys. Lett.* **489**, 54-58 (2010).

[8] O. K. Dudko, G. Hummer, A. Szabo, *Phys. Rev. Lett.* **96**, 108101-108104 (2006).