

„Nanokompozyty polietylenu z nanonapełniaczami węglowymi: podobieństwa i różnice”

Vahid Rahmadian

Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych Polskiej Akademii Nauk w Łodzi, Dział Nanomateriałów Polimerowych, Sienkiewicza 112, 90-363 Łódź, Poland

Streszczenie

Nanokompozyty polietylenowe zawierające większość znanych nanocząstek węgla: sadzę, nanodiamenty, nanorurki węglowe, fuleren, grafen i zredukowany tlenek grafenu, przygotowano metodą mieszania w stanie stopionym. Próbki badano i analizowano przy użyciu różnych technik doświadczalnych. Jedynie nanorurki węglowe i płytki grafenu zarodkowały krystalizację polietylenu i podniosły temperaturę pikową jego krystalizacji o 3-4°C. Pojedyncze ziarna pozostałych nanonapełniaczy węglowych nie wykazywały zdolności do zarodkowania w przeciwieństwie do ich aglomeratów. Stąd liczba zarodkowanych elementów strukturalnych polietylenu była o kilka rzędów wielkości mniejsza od liczby wprowadzonych nanocząstek. Udarność nanokompozytów wzrosła o 30-40% w przypadku sadzy, nanodiamentów, fulerenów i nanorurek węglowych, natomiast w przypadku obu nanonapełniaczy płytkowych spadła o 25-30%. Podczas rozciągania polietylen i jego nanokompozyty kawitowały w okolicy granicy plastyczności, co wykazały pomiary odkształcenia objętościowego. Okazało się, że wnęki kawitacyjne pochodzące z obu źródeł: z samego HDPE i po oderwaniu od nanonapełniaczy są większe niż 10-15 nm. Co zaskakujące, dane rentgenowskie pod małymi kątami nie wykazały pustek o średnicy mniejszej niż około 10-15 nm. Brak małych kawitacji zaobserwowano dla zwykłego polietylenu i wszystkich nanokompozytów, dla wszystkich lokalnych odkształceń o utrwalonej długości próbki i dla wszystkich stężeń nanonapełniaczy. Obserwacja ta zaprzecza powszechnemu przekonaniu, że najpierw powstają małe kawitacje, a następnie w trakcie dalszej deformacji powoli się powiększają. Najwyraźniej pory kawitacyjne o średnicy 10-15 nm powstają nagle w jednym etapie. Wartość ta jest zaskakująco bliska grubości warstwy amorficznej. Sugeruje się, że podobnie jak w przypadku zwykłych cieczy, napięcie powierzchniowe fazy amorficznej polietylenu powoduje zapadanie się w małych kawern. W przypadku amorficznego polietylenu o napięciu powierzchniowym 35,7 mJ/m² ciśnienie zapadania dla kawerny o rozmiarze 20 nm wyniosłoby 7 MPa. Podczas rozciągania jednoosiowe naprężenie wynoszące 21 MPa zrównoważyłoby ciśnienie zamykające wynoszące 7 MPa. Naprężenia takie powstają

w pobliżu granicy plastyczności. Wszelkie mniejsze wnęki wymagałyby większego naprężenia i zapadłyby się pod działaniem napięcia powierzchniowego. Pokazuje to, że zachowanie kawitacyjne fazy amorficznej polietylenu w skali nanometrowej jest podobne do zachowania zwykłej cieczy.