

FUNKCJONALIZOWANE NANOMATERIAŁY WĘGLOWE JAKO KOMPONENTY USZLACHETNIAJĄCE PRZEMYSŁOWE ŚRODKI SMARNE

mgr Ilona Maria Scudło

Celem niniejszej rozprawy było opracowanie zmodyfikowanych nanorurek węglowych (CNTs) oraz nanografenu (nGr), które umożliwią tworzenie stabilnych dyspersji w bazach węglowodorowych, takich jak oleje mineralne dla zastosowań tribologicznych. W ramach pracy przeprowadzono analizę literatury, badania eksperymentalne oraz działania wdrożeniowe.

W części literaturowej dokonano przeglądu dostępnych metod funkcjonalizacji nanomateriałów węglowych oraz ich wpływu na właściwości tribologiczne olejów. Na tej podstawie wytypowano ścieżki modyfikacji fizykochemicznej CNTs i nGr, uwzględniając grupy funkcyjne takie jak alkilowe, alkiloarylowe oraz oligo- i poliestrowe, które wykazują potencjał poprawy właściwości smarnych.

W części doświadczalnej przeprowadzono szczegółową charakterystykę wybranych nanomateriałów oraz czynników funkcjonalizujących, wykorzystując FTIR, *cryo*-TEM, TGA i miareczkowanie Boehma. Opracowano warunki syntezy dla różnych typów modyfikacji, uwzględniając zmienne takie jak temperatura, czas reakcji oraz parametry sonikacji. Przeprowadzono reakcje funkcjonalizacji nanomateriałów poprzez wprowadzenie grup funkcyjnych zarówno w miejscach defektów, jak i na powierzchni ścian bocznych. Uzyskane pochodne poddano ocenie pod kątem zdolności do tworzenia stabilnych dyspersji w olejach bazowych SN-100, SN-150 i SN-650. Ocenę stabilności przeprowadzono metodami wizualnymi oraz technikami rozpraszania światła (DLS, MLS, SLS). Na tej podstawie wytypowano pochodne, które wykazywały najlepsze właściwości stabilnościowe i smarne, szczególnie w oleju SN-100, który stanowił największe wyzwanie badawcze. Dla stabilnych dyspersji przeprowadzono testy tribologiczne w młynie czterokulowym, określając obciążenie zespawania dla 0,1% dyspersji. Wybrane pochodne, zawierające wiązania aminowe i amidowe, wykazały lepsze właściwości smarne niż sama baza olejowa. Dodatkowo przeprowadzono testy aplikacyjne z wykorzystaniem smaru bazowego dostarczonego przez partnera przemysłowego. Na podstawie wyników zaproponowano mechanizmy poprawy smarności dzięki zastosowaniu

nanomateriałów węglowych, obejmujące mechanizm toczenia, tworzenia warstwy nanoprotekcyjnej, naprawy oraz polerowania powierzchni. Ostatecznie wytypowano najlepsze formułacje do dalszych testów aplikacyjnych u użytkownika końcowego.

W części wdrożeniowej przeprowadzono analizę rynku, która wykazała rosnące zainteresowanie nowoczesnymi dodatkami uszlachetniającymi do produktów smarnych, mogącymi ograniczyć stosowanie konwencjonalnych komponentów. W ramach oceny stanu techniki dokonano trzykrotnego przeglądu zastrzeżeń i zgłoszeń patentowych dotyczących zastosowania nanomateriałów węglowych jako dodatków funkcyjnych do środków smarnych – w kwietniu 2021 r., lipcu 2022 r. oraz lipcu 2025 r. Dodatkowo na bieżąco monitorowano nowe doniesienia patentowe w tej dziedzinie.

W ramach oceny aplikacyjnej przeprowadzono badania tribologiczne produktów smarnych zawierających funkcjonalizowane nanomateriały węglowe. Dla smaru plastycznego wyznaczono kluczowe parametry, takie jak obciążenie zespawania, współczynniki tarcia oscylacyjnego (SRV) i ślizgowego (μ) oraz średnicę skazy po zużyciu. Wyniki porównano z komercyjnym smarem z tej samej grupy produktowej. Dla oleju emulgującego i cieczy obróbczych określono współczynniki tarcia oraz wskaźniki zużycia w warunkach testowych. Przeprowadzono próby eksploatacyjne obróbki skrawaniem w warunkach zbliżonych do rzeczywistych, analizując właściwości przeciwzatarciowe i przeciwzużyciowe. Badania obejmowały ocenę trwałości ostrzy, chropowatości powierzchni obrobionej oraz charakteru zużycia na powierzchni przyłożenia. W celu minimalizacji wpływu zmienności materiału obrabianego, pomiary zużycia ostrzy realizowano naprzemiennie. Wyniki potwierdziły skuteczność opracowanych formułacji w poprawie właściwości tribologicznych i eksploatacyjnych cieczy obróbczych.