

**XLII Ogólnopolska
Konferencja**

Jesienna Szkoła Tribologiczna

Zielona Góra – Jesionka 2024

**ABSTRAKTY
ARTYKUŁÓW**

ORGANIZATORZY



**UNIWERSYTET
ZIELONOGÓRSKI**



POLSKIE TOWARZYSTWO TRIBOLOGICZNE
członek International Tribology Council

WPLYW OBCIĄŻENIA I SPOSOBU SMAROWANIA WĘZŁA TARCIA POWŁOKA AAO-ŻELIWO EN-GJL-250 NA OPORY RUCHU

Marek Bara ^{1*}, Joanna Korzekwa ¹, Mateusz Niedźwiedź ¹, Sławomir Kaptacz ¹

¹Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych,
40-007 Katowice ul. Bankowa 12

*Adres korespondencyjny: e-mail: marek.bara@us.edu.pl

Słowa kluczowe: powłoka AAO, żeliwo szare, smarowanie, mgła olejowa, opory ruchu.

Celem niniejszej pracy jest określenie wpływu smarowania skojarzenia ślizgowego powłoka AAO – żeliwo EN-GJL-250 na opory ruchu, przy różnych wartościach obciążenia tego węzła tarcia. Powłoki AAO (anodic aluminum oxide) wytworzono na stopie aluminium EN AW-5251 metodą elektrochemiczną, stosując stałe parametry wytwarzania dla wszystkich próbek. Testy tribologiczne przeprowadzono w ruchu posuwisto-zwrotnym na testerze tribologicznym T-17 z układem do automatycznego smarowania węzła tarcia. Testy prowadzono ze smarowaniem okresowym mgłą olejową, z aplikacją do węzła tarcia co 5, 10, 15 minut oraz ze smarowaniem ciągłym, realizowanym przez zanurzenie pary trącej w oleju. Zastosowano trzy wartości nacisku jednostkowego 0,5, 1 oraz 1,5 MPa. Przeprowadzone badania dowiodły, iż smarowanie okresowe badanego węzła tarcia może być tak samo skuteczne jak smarowanie ciągłe. Badania wykazały również niższe wartości współczynnika tarcia (szczególnie przy obciążeniu 0,5 MPa) dla smarowania okresowego niż dla smarowania ciągłego niezależnie od obciążenia. W pracy zostaną przedstawione rezultaty badań tribologicznych oraz chropowatości powłok AAO, przed i po teście tribologicznym. Wyniki badań tribologicznych zostaną uzupełnione o badania mikroskopowe oraz analizę statystyczną.

WYKORZYSTANIE METODY SPT W OCENIE DEGRADACJI MATERIAŁÓW DLA ENERGETYKI

Patryk Baran ^{1,2*}, Klaudia Klimaszewska ³, Grzegorz Golański ⁴, Marek
Nowak ¹, Łukasz Frocisz ², Janusz Krawczyk ²

¹ *Urząd Dozoru Technicznego, ul. Szczęśliwiecka 34, 02-353 Warszawa0*

² *AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział
Inżynierii Materiałowej i Informatyki Przemysłowej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków*

³ *Progress sp. z o.o., Ostrówek 43, 98-311 Ostrówek*

⁴ *Politechnika Częstochowska, Katedra Inżynierii Materiałowej, ul. Armii Krajowej 19, 42-
200 Częstochowa*

*Adres korespondencyjny: e-mail: pabaran@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: SPT, stal, energetyka, degradacja

Cennymi metodami badawczymi są takie, które umożliwiają ocenę stopnia degradacji materiału, nie powodując niszczenia konstrukcji. Jedną z takich metod jest Small Punch Test (SPT), która przez swoją małą inwazyjność, zaliczana jest do metod nieniszczących. Sektorem, w którym próby SPT pozwalają na uzyskanie dodatkowych informacji na temat stopnia degradacji mikrostruktury i właściwości mechanicznych, jest energetyka. Stale wykorzystywane w energetyce narażone są na długotrwałe oddziaływanie wysokiej temperatury i ciśnienia, przez co kluczową rolę odgrywa możliwość ocenienia stopnia degradacji ich mikrostruktury oraz właściwości mechanicznych.

Niniejsza praca koncentruje się na żarowytrzymałej, austenitycznej stali Super 304H. Materiał poddano starzeniu w temperaturze 650°C w czasach 10000, 20000 oraz 30000 godzin. Dla stanu dostawy oraz poszczególnych warunków starzenia wykonane zostały badania mikrostrukturalne, pomiar twardości, próba udarności oraz badania SPT.

Wyniki badań SPT przedstawiają zmiany parametrów mechanicznych stali w zależności od procesu starzenia. Wykazują one dobre powiązanie ze zmianami mikrostruktury oraz wynikami próby udarnościowej. Metoda ta umożliwia określenie parametrów R_m oraz $R_{p0,2}$ a uzyskana

korelacja potwierdza możliwość jej zastosowania w celach oceny stopnia zużycia elementów konstrukcji elektrowni.

Projekt finansowany w ramach VII edycji „Doktorat Wdrożeniowy”, przez MNiSW.

ZASTOSOWANIE METOD SZTUCZNEJ INTELIGENCJI W ANALIZIE PROCESÓW ZUŻYWANIA SKOJARZENIA TOCZNO-ŚLIZGOWEGO

Henryk Bąkowski ^{1*}, Andrzej Sokołowski ², Łukasz Łomozik ³

¹ *Politechnika Śląska, Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej,
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice*

² *Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny,
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice*

³ *Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny,
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice*

*Adres korespondencyjny: e-mail: henryk.bakowski@polsl.pl

Słowa kluczowe: predykcja, metody sztucznej inteligencji (AI), zużycie

W artykule zostanie przedstawiony proces rozpoznawania obrazów za pomocą Metody Sztucznej Inteligencji (AI) wykorzystując sieci neuronowe stosowane do rozwiązywania problemów związanych z uczeniem maszynowym. Jedną z form tego uczenia jest rozpoznawanie obrazów. Dlatego istotną cechą będzie przedstawianie wyników w czasie rzeczywistym w środowisku interaktywnym Colab kodu w języku Python co pozwoli w sposób przystępny na zrozumienie danego zagadnienia.

W analizowanym zagadnieniu zostanie przedstawiony cały algorytm postępowania oparty na identyfikacji i sklasyfikowania obrazów związanych z zagadnieniem zużycia skojarzenia toczno-ślizgowego na przykładzie układu koło-szyna. Przedstawiona w sposób holistyczny metalograficzna analiza procesu zużycia w skojarzeniu toczno-ślizgowym z wykorzystaniem Metod Sztucznej Inteligencji pozwoli na określenie mechanizmów zużycia. Dzięki zastosowanej analizie, w ten sposób uzyskane wyniki nie będą wymagały od obserwatora specjalistycznej wiedzy na temat zużycia, tarcia i smarowania zachodzących w obiektach technicznych. Istotną cechą jest zdolność automatycznego uczenia się poprzez adaptację swojej struktury i jej właściwości. Uczenie maszynowe jest interdyscyplinarne i może zostać wykorzystane do analizy w zasadzie każdego problemu. Należy jednak pamiętać że nie jest to w każdym przypadku uzasadnione, gdyż analizując bardzo skromny problem (z niewielką ilością danych) możemy wykorzystać klasyczne narzędzia statystyczne. Dopiero problem zaczyna się pojawiać w przypadku analizy ogromnej ilości danych i ich przetwarzania.

OCENA SKUTECZNOŚCI SMAROWANIA NOWYCH EKOLOGICZNYCH ŚRODKÓW SMARNYCH PRZEZNACZONYCH DLA MASZYN PRACUJĄCYCH W CIĘŻKICH WARUNKACH

Szymon Bernat¹, Kasper Górny^{2*}, Marcin Kowalski³, Arkadiusz Stachowiak², Wiesław Zwierzycki²

¹ SINTEF Industry, Materials and Nanotechnology, Richard Birkelands vei 2 B, 7034 Trondheim

² Poznan University of Technology, Department of Food Engineering and Food Transportation, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

³ Warsaw University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Mechanics and Petrochemistry, Łukasiewicza 17 Street, 09-400 Płock, Poland

*Adres korespondencyjny: e-mail: kasper.gorny@put.poznan.pl

Słowa kluczowe: współczynnik tarcia, ekologiczne środki smarne, skąpe smarowanie

W artykule przedstawiono próbę oceny zużycia elementów węzłów tarcia z różnych brązów przy skąpym smarowaniu. Celem badań było sprawdzenie skuteczności smarowania nowych ekologicznych środków smarnych przeznaczonych dla maszyn pracujących w ciężkich warunkach. W badaniach jako ekologicznej substancji smarującej użyto oleju na bazie glicerolu i wody, a także oleju na bazie oleju rzepakowego. W celach porównawczych wykonano również badania dla komercyjnie dostępnego oleju przekładniowego. Do badań tribologicznych w warunkach skąpego smarowania użyto materiałów w postaci brązów, takich jak: CuSn12 (GBZ12), CuAl10Fe3Mn2 (BA1032) oraz CuAl10Ni5Fe4 (BA1054).

W artykule przedstawiono koncepcję badań porównawczych oraz wyniki badań tribologicznych pozwalających na ocenę właściwości smarnych nowych ekologicznych środków smarnych przeznaczonych dla maszyn pracujących w ciężkich warunkach. Dyskusji poddano przebiegi współczynnika tarcia oraz zużycie dla różnych konfiguracji materiałów węzła tarcia oraz zastosowanej substancji smarującej, również przy jej braku. Celem identyfikacji mechanizmów zużywania przeanalizowano również zdjęcia śladów wytarcia na badanych próbkach z brązów.

BADANIA TRIBOLOGICZNE MATERIAŁÓW NA PANEWKI ENDOPROTEZ STAWU BIODROWEGO

Łukasz Bojko^{1*}, Paweł Pałka², Piotr Osada¹, Elżbieta Makowska²

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej
i Robotyki, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Metali Nieżelaznych,
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

*Adres korespondencyjny: e-mail: lbojko@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: panewka, tarcie, zużycie, mikrotwardość, moduł Younga

Alloplastyka stawu biodrowego w sposób całkowity zmienia warunki współpracy prawidłowej biologicznej pary trącej poprzez wprowadzenie panewki oraz głowy na trzpieniu. Dobierając endoprotezę należy dokonać wyboru pomiędzy sztywnym węzłem tribologicznym, a biołożyskiem podatnym, amortyzującym obciążenia lokomocyjne, które lepiej przybliża warunki panujące w prawidłowym stawie. Celem pracy jest porównanie i ocena parametrów tribologicznych i mikromechanicznych wybranych biomateriałów stosowanych na panewki endoprotez stawu biodrowego. Przeprowadzone badania odporności na zużycie oraz wyznaczenie współczynników tarcia, a także badania mikrotwardości i modułu Younga pozwoliły stwierdzić, które materiały będą najbardziej preferowane na panewki endoprotez stawu biodrowego. Badania tribologiczne par trących wykazały, że dobierając materiał na panewkę głównym parametrem, który należy brać pod uwagę jest odporność na zużycie ścierne panewki w zależności od zastosowanej głowy endoprotezy. Nieco mniejsze znaczenie ma współczynnik tarcia oraz parametry mikromechaniczne. Poprawa tribologicznej współpracy zastosowanej pary łożyskowej, a szczególnie obniżenie zużycia i zmniejszenie generowania produktów tarcia, może wpływać na warunki artykulacji endoprotezy i długość jej przeżycia w organizmie.

REDUKCJA WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA W UKŁADZIE CIERNYM GUMOWY PROFIL - METALOWE NARZĘDZIE W CELU ELIMINACJI SMAROWANIA WĘGLOWODORAMI ALIFATYCZNYMI

Angelika Byczkowska ^{1,2*}, Piotr Głąb ¹, Dariusz M. Bieliński ²

¹ *Hutchinson Poland Sp. z o.o.,
93-331 Łódź ul. Kurczaki 130*

² *Instytut Technologii Polimerów i Barwników, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka
90-537 Łódź ul. Stefanowskiego 16*

* *Adres korespondencyjny: e-mail: angelika.byczkowska@dokt.p.lodz.pl*

Słowa kluczowe: tarcie guma-metal, rozpraszanie energii w gumie, powłoki na powierzchni metalu

Precyzyjne odcięcie elementu gumowego, wymaga periodycznego przesuwania go w sztywnym narzędziu pozycjonującym profil. Aby obniżyć znaczne opory tarcia z tym związane, obecnie stosuje się w tym celu smarowanie pary ciekiej guma-metal za pomocą lotnych węglowodorów alifatycznych, które mają szkodliwy wpływ na organizm ludzki.

Celem projektu jest opracowanie takiego sposobu modyfikacji powierzchni narzędzia metalowego (przemysł motoryzacyjny nie dopuszcza ingerencji w materiał uszczelnienia), który umożliwiłby zmniejszenie oporów tarcia do zbliżonego poziomu bez smarowania.

Przeprowadzono pomiary realnych siły montażu profilu w narzędziu oraz zmierzono chropowatość jego wewnętrznej powierzchni. Stwierdzono wygładzenie powierzchni w niektórych obszarach, co pozwoliło na ocenę na których strefach należy skoncentrować prace związane z modyfikacją powierzchni narzędzia. Opracowano metodykę pomiaru współczynnika tarcia na dwóch tribometrach: o skojarzeniu pary ciekiej rolka-kłoczek oraz pracującego w układzie trzpień-tarcza. Z uwagi na mniejszy rozrzut wielkości siły tarcia w warunkach obciążenia odpowiadających rzeczywistej eksploatacji, do dalszych badań wybrano skojarzenie ciekie metalowy trzpień - gumowa tarcza. Zarejestrowane przebiegi siły tarcia miały charakter stick-slip, typowy dla tarcia gumy. Charakterystyki tribologiczne, zarejestrowane dla gumy o różnej twardości, poddano transformacji Fouriera z dziedziny siły do dziedziny częstotliwości. Otrzymane dyskretne przebiegi energii rozpraszanej w gumie podczas tarcia porównano dla kilku par ciernych, w przypadku których nałożono powłoki na próbkę metalową.

CHARAKTERYSTYKA STRUKTURALNA I WŁASNOŚCI POWŁOK CYNKOWYCH NA STAŁOWYCH ELEMENTACH KONSTRUKCYJNYCH

Małgorzata Witkowska ¹, Kinga Chronowska-Przywara ^{2*}, Joanna Kowalska¹

¹*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki
Przemysłowej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków*

²*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, al. Mickiewicza
30, 30-059 Kraków*

*Adres korespondencyjny: e-mail: chronows@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: cynkowanie ogniowe, powłoki cynkowe, przyczepność, mikrostruktura

Wiele procesów technologicznych wywiera szkodliwy wpływ na środowisko naturalne. Każda technologia musi spełniać szereg obostrzeń określonych właściwymi normami dotyczącymi ograniczeń związanych ze szkodliwym oddziaływaniem na środowisko poprzez emisję substancji szkodliwych. Z punktu widzenia ekologii, cynkowanie jest procesem stosunkowo bezpiecznym dla otoczenia. Jest również jednym z najbardziej rozpowszechnionych procesów wytwarzania powłok ochronnych, cechujących się skutecznym, ekonomicznym i długotrwałym zabezpieczeniem stopów przed korozją atmosferyczną i uszkodzeniami mechanicznymi. Możliwość ich wytwarzania na różnych rodzajach podłoża stalowego jak i możliwość sterowania samym procesem przyczyniła się do poprawy nie tylko walorów dekoracyjnych ale również własności technologicznych. Tego typu powłoki znalazły zastosowanie praktycznie we wszystkich gałęziach przemysłu. Przede wszystkim stosowane są w branży konstrukcyjnej, wykorzystywane są do zabezpieczenia takich elementów jak bramy, płoty, słupy, czy kraty pomostowe.

W niniejszej pracy dokonano charakterystyki strukturalnej powłok cynkowych wykonanych na stali S235JR. Powłoki naniesiono metodą zanurzeniową na kraty profilowane stosowane między innymi na stopnie i inne elementy konstrukcyjne. Charakterystyka obejmuje badania metalograficzne, mechaniczne, dyfrakcyjne, badania zużycia ściernego i przyczepności powłok. Obserwacje metalograficzne ujawniły warstwową budowę powłoki cynkowej, składającą się z faz η , ξ , δ i Γ o różnym składzie chemicznym. Ponadto wytworzone powłoki cynkowe cechują się dobrą przyczepnością.

WPLYW GRAFENU NA DZIAŁANIE DODATKU ZDDP W WYBRANYCH SYSTEMACH TRIBOLOGICZNYCH

**Tomasz Desaniuk^{1*}, Joanna Kowalczyk¹, Andrzej Kulczycki², Sabina Lesz³,
Dariusz Ozimina¹**

¹*Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn,
al. Tysiąclecia P.P. 7, 25-314 Kielce, Polska*

²*Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, ul. Ostroroga 35a, 01-163 Warszawa, Polska*

³*Politechnika Śląska, Wydział Mechanicznotechnologiczny,
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice, Polska*

**Adres korespondencyjny: e-mail: desaniuk@gmail.com*

Słowa kluczowe: tarcie, zużycie, PAO 8, grafen, ZDDP

W artykule przedstawiono wpływ grafenu oraz dodatku przeciwzużyciowego dialkyloditiofosforanu cynku (ZDDP) i antystatycznego (ASA) na właściwości tribologiczne. Badania tribologiczne przeprowadzono na testerze tribologicznym z użyciem skojarzenia trącającego kula-tarcza, przy obciążeniach wynoszących 5 - 50 N na dystansie 1000 m. Do badań użyto jako układ odniesienia elementów węzła tarcia ze stali 100Cr6. Przeprowadzono również test porównawcze z wykorzystaniem próbek z powłokami diamentopodobnych DLC oraz azotkiem tytanu TiN naniesionych na stal 100Cr6. Testy wykonano dla modelowych kompozycji smarowych z zastosowaniem oleju bazowego PAO 8, z dodatkiem grafenu, ZDDP i ASA. W ramach eksperymentu przeprowadzono analizy struktury geometrycznej powierzchni (SGP) oraz analizę elementarną pierwiastków na powierzchni próbek przed i po testach tribologicznych. Badania przeprowadzono z zastosowaniem mikroskopu konfokalnego z trybem interferometrycznym oraz mikroskopu skaningowego (SEM). Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że wprowadzenie do syntetycznego oleju bazowego PAO8 dodatków grafenu, ZDDP oraz ASA wpływa na zaawansowane oddziaływania o charakterze tribochemicznym wspomagane procesami tribokatalitycznymi.

XLII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna 2024
10-13 września 2024 Jesionka



PERSPEKTYWY ZASTOSOWANIA LIN POLIMEROWYCH W WĘZŁACH ŚLIZGOWYCH

Anna Dobrowolska-Bronczyk^{1*}, Piotr Kowalewski¹, Bartłomiej Busłowski

¹ *Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Adres*

**Adres korespondencyjny: e-mail: anna.bronczyk@pwr.edu.pl*

Słowa kluczowe: liny polimerowe, tarcie polimer - metal, włókna polimerowe

Liny z włókien polimerowych znajdują zastosowanie między innymi w różnego rodzaju systemach podnoszących, przesuwających, ciągnowych i dźwigowych. Aplikacja na węzły ślizgowe lin wykonanych z włókien polimerowych, w porównaniu do tradycyjnych materiałów litych, stwarza szereg potencjalnych korzyści. Wynikają one bezpośrednio z własności samych lin, takich jak: niski ciężar właściwy, elastyczność, wytrzymałość na rozciąganie, odporność na korozję oraz, co istotne z punktu widzenia tribologii, stosunkowo niski współczynnik tarcia w skojarzeniu z różnorodnymi materiałami. W pracy przedstawione zostały aktualne obszary zastosowania lin wykonanych z włókien polimerowych, z uwzględnieniem materiału współpartnera tarcia oraz środowiska w jakim pracują. Dodatkowo wskazane zostaną również nowe sposoby ich wykorzystania, na węzły ślizgowe oraz badania, które należy przeprowadzić w celu wyznaczenia podstawowych charakterystyk tribologicznych.

ŚRODKI SMAROWE O WŁAŚCIWOŚCIACH FUNKCJONALNYCH ZDETERMINOWANYCH ZASTOSOWANIEM

**Jolanta Drabik^{1*}, Elżbieta Rogoś¹, Rafał Kozdrach¹, Jolanta Hłowska²,
Kamil Korasiak²**

¹ Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Technologii Eksploatacji,
Centrum Biotechnologii i Ekoinnowacji, ul. K. Pułaskiego 6/10, Radom,
² Sieć Badawcza Łukasiewicz –Instytut Ciężkiej Syntezy Organicznej „Blachownia”, Grupa
Badawcza Chemia Specjalistyczna, Kędzierzyn-Koźle, ul. Energetyków 9
*Adres korespondencyjny: e-mail: jolanta.drabik@itee.lukasiewicz.gov.pl
Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Technologii Eksploatacji

Słowa kluczowe: smary krzemionkowe, właściwości smarne i reologiczne, bio-dodatki

W artykule przedstawiono wyniki badań bio-smarów przekładniowych opracowanych na bazie olejów syntetycznych z zagęszczaczem nieorganicznym. Oceniono wpływ zsyntezowanych bio-dodatków uszlachetniających na właściwości kompozycji smarowych. Wykazano, że największą poprawę właściwości przeciwzużyciowych zapewnił dodatek krzemionki sfunkcjonalizowanej amidem z bocznym łańcuchem o 7 atomach węgla.

Właściwości funkcjonalne opracowanych smarów krzemionkowych wyznaczono na podstawie modelowych testów, w tym testów tribologicznych oraz testów stanowiskowych odwzorowujących warunki środowiskowe, w szczególności zabezpieczanie powierzchni układów trących przed korozją. Stwierdzono, że opracowane smary o klasie konsystencji NLGI 00, NLGI 1, NLGI 2 spełniają wymagania ustalone dla smarów do przekładni według normy ISO/CD 12925-3 kategorii CKGPR i charakteryzują się wymaganymi właściwościami: AO antyutleniające, IC ochrona przed korozją, EP przeciwzatarciowe i AW przeciwzużyciowe. Opracowano innowacyjne bio-smary dostosowane do indywidualnych cech technicznych mechanizmów i zespołów turbin wiatrowych, wytrzymujące wysokie obciążenia oraz odporne na warunki atmosferyczne o doskonałej trwałości użytkowej.

XLII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna 2024
10-13 września 2024 Jesionka



WPLYW POWŁOKI DLC NA WŁAŚCIWOŚCI PRZECIWZUŻYCIOWE FORM WTRYSKOWYCH

Szymon Drabik^{1*}, Monika Madej¹

¹ Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, al.
Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

*Adres korespondencyjny: e-mail: sdrabik@tu.kielce.pl

Słowa kluczowe: forma wtryskowa, stal X38CrMo16, Powłoka, DLC, PVD, tarcie, zużycie

W artykule oceniono właściwości powłok DLC naniesionych na stal X38CrMo16. Powłoki uzyskano techniką fizycznego osadzania z fazy gazowej PVD. Na mikroskopie elektronowym przeprowadzono analizę mikrostruktury na przekroju poprzecznym w celu określenia grubości naniesionej powłoki. Wykonano pomiary tribologiczne w warunkach tarcia technicznie suchego, w skojarzeniu trącym kula-tarcza. Przeciwpróbkę stanowiła kula ze stali 100Cr6. Celem tych badań było określenie wartości współczynnika tarcia i zużycia liniowego. Powstałe na skutek testów tribologicznych ślady wytarcia poddano obserwacjom na mikroskopie konfokalnym w celu określania ich: głębokości, szerokości i pola powierzchni. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że próbka z osadzoną powłoką charakteryzowała się mniejszymi współczynnikami tarcia i zużyciem w porównaniu do stali X38CrMo16.

WPLYW NAGNIATANIA I AZOTOWANIA STALI NARZĘDZIOWEJ VANCRON NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWE WARSTWY WIERZCHNIEJ

Cezary Drenda ^{1*}, Daniel Toboła ², Marcin Kot ¹

¹ Akademia Górniczo – Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział
Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, al. Adama Mickiewicza 30,
30-059 Kraków

² Łukasiewicz – Krakowski Instytut Technologiczny, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków

*Adres korespondencyjny: e-mail: drenda@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: Stal narzędziowa, warstwa wierzchnia, zużycie, nagniatanie, azotowanie

Intensywne obciążenia mechaniczne, którym poddawane są narzędzia do obróbki plastycznej na zimno, prowadzą do ich zużycia wskutek występującego tarcia. Z punktu widzenia technologicznego, ekonomicznego, niezawodnościowego, jak i z uwagi na jakość finalnego fabrykatu lub półfabrykatu istotne jest poznanie i opanowanie procesów zużycia takich narzędzi. Proces zużycia zachodzący w trakcie pracy prowadzi do zmiany geometrii aktywnej części narzędzia, co przekłada się na błędy wymiarowo – kształtowe wykonanego wyrobu. Badana stal Vancron należy do grupy stali otrzymywanych technologią metalurgii proszków. Jej głównym zastosowaniem, zgodnym z zaleceniami producenta, jest wytwarzanie narzędzi do obróbki plastycznej na zimno. Charakteryzuje się ona wysoką wytrzymałością i doskonałą odpornością na zużycie. Wykonane badania dotyczyły próbek, obrobionych cieplnie w piecu próżniowym do twardości 64 ± 1 HRC. Następnie poddano je wybranym procesom obróbki powierzchniowej, takim jak: toczenie czy nagniatanie oraz azotowaniu. Próbką referencyjną była stal Vancron w stanie surowym tj. bez obróbki cieplnej oraz powierzchniowej. W celu weryfikacji zaproponowanych rozwiązań w pracy zamieszczono m.in. wyniki badań skaningowej mikroskopii elektronowej, analizy topografii powierzchni, nanotwardości oraz testów tribologicznych przeprowadzonych metodą ball-on-disc w warunkach tarcia suchego, kulką wykonaną z Al_2O_3 .

**EKSPERYMENTALNE WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA Z
UWZGLĘDNIENIEM ZUŻYCIA EKSPLOATACYJNEGO W CIERNYCH TŁUMIKACH
DRGAŃ SKRĘTNYCH ZINTEGROWANYCH ZE SPRZEGŁEM W POJAZDACH
CIĘŻAROWYCH**

Michał Formela ^{1*}, Jacek Łubiński ²

¹ Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa,
ul. Gabriela Narutowicza 11/12, 80-229 Gdańsk
Eaton Truck Components, ul. 30 Stycznia 55, 83-110 Tczew

² Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa,
ul. Gabriela Narutowicza 11/12, 80-229 Gdańsk

*Adres korespondencyjny: e-mail: michal.formela@pg.edu.pl

Słowa kluczowe: tłumik drgań, eksploatacja, tarcie ślizgowe suche, współczynnik tarcia

W pracy opisano metodę wyznaczania współczynnika tarcia w kontaktach ślizgowych systemu tłumika drgań skrętnych układu napędowego ciężarowego pojazdu samochodowego oraz zaprezentowano wstępne wyniki. Tarczowy, cierny tłumik drgań zintegrowany z jednotarczowym sprzęgłem suchym jest istotnym elementem układu napędowego i w przeciwieństwie do okładzin ciernych sprzęgła, jego elementy cierne zużywają się stale, gdy tłokowy silnik spalinowy jest uruchomiony. Nierównomierność biegu silnika skutkuje występowaniem w tłumiku oscylacyjnego ruchu obrotowego, co powoduje postępujące zużycie elementów roboczych pakietu ślizgowego. Ciągłość procesu powoduje stopniowe zmiany wartości współczynnika tarcia m.in. z powodu obecności produktów zużycia w strefie tarcia. Skutkiem jest zmiana charakterystyki momentu tarcia tłumika podczas eksploatacji w pojeździe, która jest zjawiskiem niepożądanym. W wyniku przeprowadzonych prac doświadczalnych, mających na celu poprawę kontroli nad opisanym procesem, oszacowano ten wpływ. Jako przykładowy materiał badawczy wykorzystano 2 nowe oraz 4 używane tłumiki drgań (w tym 2 o niskim zużyciu oraz 2 o wysokim), które były eksploatowane w podobnych warunkach, tj. w ciągnikach siodłowych Volvo FH13 wyposażonych w układy napędowe tego samego typu, oraz poruszających się głównie po autostradach krajów europejskich. Przeprowadzone oraz zaplanowane badania pozwolą na poprawę kontroli nad zmiennością charakterystyki tarcia w tłumikach drgań zintegrowanych ze sprzęgłem pojazdu.

WPŁYW ZMIAN OSNOWY NA ZUŻYCIE WYSOKOWĘGLOWYCH STALI STOPOWYCH

**Łukasz Frocisz¹, Janusz Krawczyk¹, Krzysztof Pancikiewicz¹, Mateusz
Kopyściański¹, Sebastian Lech¹**

¹AGH Akademia Górniczo – Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki
Przemysłowej

Słowa kluczowe: mikrostruktura, zużycie ściernie, obróbka cieplna, węgliki, stal
nadeutektoidalna

Stale wysokowęglowe są materiałami, które w głównej mierze stosowane są w warunkach silnego zużycia tribologicznego. Wysoka odporność tribologiczna tych materiałów jest nierozdzielnie związana z obecnymi w mikrostrukturze tych materiałów węglnikami. Jednakże wpływ węglików i ich zachowanie w warunkach zużycia jest silnie powiązane z osnową w jakiej te wydzielenia będą osadzone. Stąd w niniejszej pracy postanowiono przebadąć wpływ zmian osnowy materiału na zużycie tribologiczne stali wysokowęglowych. Badania opierały się o zastosowanie różnych zabiegów obróbki cieplnej, mającej wpłynąć na skład fazowy i strukturalny osnowy badanych stopów. Jednocześnie w ograniczonym stopniu obróbka ta powinna wpływać na obecne w materiale wydzielenia węglików. Analizie poddano materiały hartowane z różnych temperatur austenitizacji, próbki o osnowie bainitycznej oraz perlitycznej o różnej morfologii. Badania prowadzono w układzie trącym klocek – pierścien w warunkach tarcia suchego. Uzyskane wyniki wskazują na istotny wpływ osnowy materiału na zużycie masowe i objętościowe badanych stopów. Największe zmniejszenie wielkości zużycia tribologicznego obserwuje się w przypadku próbek perlitycznych. Zmiana morfologii płytkowej perlitu, w sposób efektywny zredukowała zużycie masowe próbek. Zmniejszenie odległości międzypłytkowej w perlicie, które może być uzyskane, przez zastosowanie przyspieszonego chłodzenia materiału po procesie kształtowania, w sposób istotny ogranicza zużycie stali wysokowęglowych.

ANALIZA ZUŻYCIA ELEMENTÓW SPRĘŻAREK CHŁODNICZYCH WSKUTEK NIEODPOWIEDNIEGO SMAROWANIA WĘZŁÓW RUCHOWYCH

Kasper Górny, Przemysław Tyczewski ^{1*}

¹ *Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu,
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań*

**Adres korespondencyjny: e-mail: przemyslaw.tyczewski@put.poznan.pl*

Słowa kluczowe: sprężarka chłodnicza, czynnik chłodniczy, uszkodzenia

Sprężarka pracująca bez oleju bardzo szybko ulega uszkodzeniu. Wykonano test zużycia rzeczywistej sprężarki, w którym zatarcie węzłów tarcia nastąpiło na skutek bardzo małej ilości oleju. Po analizie optycznej powierzchni tarcia zauważono, iż największemu zniszczeniu uległ węzeł czop – panewka tłoka. Brak oleju na powierzchniach ślizgowych doprowadził do szczepień adhezyjnych materiałów w węzle ruchowym. Występujące siły międzycząsteczkowe spowodowały wyrywanie materiału, na powierzchni panewki można zaobserwować bardzo duże ubytki i powstałe bruzdy. Podstawowe parametry chropowatości uległy kilkukrotnemu zwiększeniu.

Wykonany test pracy sprężarki bez oleju potwierdza, że urządzenie te musi mieć odpowiednie smarowanie. Przeprowadzony test pokazał szybkie tempo zniszczenia węzłów tarcia, co z kolei doprowadziło do bardzo szybkiego uszkodzenia sprężarki. W trakcie testu monitorowano parametry pracy układu w celu znalezienia wcześniejszych oznak możliwości zniszczenia sprężarek. Takim sygnałem może być pomiar poboru mocy, który jego nagły wzrost może zapobiec zniszczeniu powierzchni sprężarek chłodniczych.

WPLYW SKOJARZENIA MATERIAŁOWEGO NA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE ELEMENTÓW MIKROPRZEKŁADNI PLANETARNEJ DYNAMICZNEGO IMPLANTU ŚRÓDSZPIKOWEGO – ORTHONAIL

**Dominika Grygier¹, Piotr Kowalewski², Jakub Słowiński³, Mariusz Opalka²,
Dariusz Pyka³, Sandra Mikosza⁴**

¹ Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Pojazdów

² Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Układów
Mechatronicznych

³ Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Katedra Mechaniki, Inżynierii Materiałowej
i Biomedycznej

⁴ Orthoget Sp. z o.o.

Słowa kluczowe:

Dynamiczny gwóźdź śródszpikowy OrthoNail to implant z unikalnym hybrydowym mechanizmem magneto-mechanicznym, pozwalającym na precyzyjne wydłużanie kości długich człowieka. Napęd hybrydowy zastosowany w implancie pozwala na uzyskiwanie wymaganej siły podczas rozciągania oraz pełni rolę kontrolną długości gwoźdźcia przy współpracy z zewnętrznym wzbudnikiem magnetycznym OrthoWheel. Energia magnetyczna przetwarzana jest wewnątrz implantu na energię mechaniczną i poprzez mikroprzekładnię planetarną porusza mechanizmem wydłużającym. Implant Orthonail jest obecnie w trakcie badania klinicznego natomiast w czasie badań wstępnych pojawiły się problemy związane ze zjawiskami tribologicznymi, to które zostały opisane w niniejszej pracy. Przedstawione badania dotyczą analizy przyczyny uszkodzenia mikroprzekładni implantu powstałej na skutek zatarcia osi i kół obiegowych w przekładni planetarnej. W pracy przedstawiono analizę mikroskopową z wykorzystaniem SEM i analizę metalograficzną miejsca zatarcia. Badania uzupełniono o pomiary mikrotwardości osi oraz kół planetarnych oraz badania topografii współpracujących powierzchni, wykonane za pomocą profilometru optycznego. Praca zawiera również badania przyczyn uszkodzenia mechanicznego koła środkowego pochodzącego z trzeciego segmentu mikroprzekładni implantu.

BADANIE WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNYCH STALI PROSZKOWYCH

Mariusz Jenek ¹

¹*Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii
Mechanicznej, ul. Prof. Z. Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra
Adres korespondencyjny: m.jenek@iim.uz.zgora.pl

Słowa kluczowe: stale proszkowe, właściwości tribologiczne, PCBN, powłoki PVD

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem urządzenia AMSLER A-135. Zbadano właściwości tribologiczne dwóch stali proszkowych (Vanadis 4 Extra Super Clean, Vanadis 23 Super Clean) oraz jako materiał odniesienia stali konwencjonalnej (Sverker 21) o zbliżonym składzie chemicznym. W badaniach zastosowano stałe oraz zmienne obciążenie. Materiały wytypowane do badań zostały poddane obróbce wykończeniowej toczeniem z wykorzystaniem ostrzy skrawających, wykonanych z polikrystalicznego regularnego azotku boru (PCBN). Zastosowane w obróbce mechanicznej ostrza charakteryzowały się różnym składem chemicznym powłok. Po badaniach tribologicznych przeprowadzono analizę powierzchni z wykorzystaniem mikroskopii skaningowej. Otrzymane wyniki badań potwierdziły zdecydowanie lepsze właściwości tribologiczne stali proszkowych względem konwencjonalnej stali stopowej. Udowodniono również, że rodzaj zastosowanego ostrza skrawającego (rodzaj naniesionej na ostrze powłoki) odgrywa istotną rolę w procesie kształtowania właściwości tribologicznych stali proszkowych. Wyniki badań odniesiono do próbek wykonanych szlifowaniem. Badania wykazały możliwość zastosowania procesu toczenia „na twardo” jako obróbki wykończeniowej, eliminując tym samym proces szlifowania, przy jednoczesnym uzyskaniu lepszych właściwości tribologicznych.

BADANIE PARAMETRÓW KANAŁU PRZECIEKU W UKŁADZIE PŁYNNEGO PIERŚCIENIA, UTWORZONEGO PRZEZ CIECZ MAGNETYCZNĄ

Krzysztof Kogut ^{1*}, Marcin Szczęch ²,

¹*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, al.
Adama Mickiewicza 30, 30-059 Kraków*

²*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, al. Adama
Mickiewicza 30, 30-059 Kraków*

**Adres korespondencyjny: e-mail: kkogut@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: ciecz magnetyczna, płynny pierścień, kanał przecieku, uszczelnienia magnetyczne.

Uszczelnienie z cieczą magnetyczną działa na zasadzie utworzenia płynnego pierścienia z wykorzystaniem pola magnetycznego i cieczy magnetycznej, co powoduje, że układ ten utrzymuje szczelność. Jego główny element, czyli ciecz magnetyczna to koloidalny układ nanocząstek magnetycznych o średnicy około 10 nm, zawieszonych w niemagnetycznej cieczy nośnej. Przeciek w tego typu uszczelnieniach występuje w przypadku wzrostu różnicy ciśnień po obu stronach cieczy magnetycznej. Przepływ podczas przecieku odbywa się przez kanał, który tworzy się w cieczy magnetycznej. Obecne badania wskazują, że występuje możliwość sterowania wartością tego przecieku. Daje to potencjał do zastosowania cieczy magnetycznych w zaworach np. w układach pneumatycznych czy układach mikro-przepływowych. Sterowanie otwarciem i zamknięciem tego kanału może odbywać się za pomocą pola magnetycznego, generowanego poprzez przepływ prądu przez cewkę. Zaletą takiej konstrukcji jest brak mechanicznych części ruchomych.

Obszar badawczy niniejszej publikacji związany jest z poznaniem wpływu właściwości magnetycznych i reologicznych na mechanizm powstawania kanałów wyciekowych w pojedynczym, magnetycznym pierścieniu cieczowym. Celem eksperymentów było zbadanie podstawowych parametrów charakteryzujących kanał przecieku, takich jak szybkość skoku ciśnienia, szybkość i czas trwania przecieku i wartość przecieku.

ODPORNOŚĆ NA ZUŻYWANIE ŚCIERNE POŁĄCZENIA SPAWANEGO STALI HARDOX 400 ZE STALĄ OKRĘTOWĄ KATEGORII A

Łukasz Konat ^{1*}, Beata Białobrzaska ¹

¹ Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Wybrzeże St. Wyspiańskiego
27, 50-370 Wrocław

*Adres korespondencyjny: e-mail: lukasz.konat@pwr.edu.pl

Słowa kluczowe: obróbka cieplna, intensywność zużycia, mikrostruktura, stal Hardox 400,
stal kategorii A

W pracy przedstawiono technologiczne i mikrostrukturalne aspekty wykonywania i obróbki cieplnej połączenia spawanego dwóch stali o bardzo odmiennych właściwościach chemicznych i mechanicznych, tj. niskostopowej, wysokowytrzymałej stali odpornej na zużywanie ściernie Hardox 400 ze stalą konstrukcyjną, predefiniowaną do zastosowań w przemyśle okrętowym kategorii A. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że zastosowanie do łączenia tych stali procesów spawalniczych prowadzi do powstawania w obrębie całego połączenia spawanego szerokiej strefy wpływu ciepła, charakteryzującej się zróżnicowanymi zmianami mikrostrukturalnymi, uniemożliwiającymi miarodajną ocenę odporności na zużywanie ściernie wykonanego połączenia. W związku z tym, zaproponowano optymalną technologię spawania obu stali oraz warunki i parametry post obróbki cieplnej, prowadzących do uzyskania w strefie połączenia spawanego mikrostruktur odznaczających się podwyższoną - w stosunku do stanu bezpośrednio po spawaniu - odpornością na procesy zużycia ściernego. Wykazano, iż przedstawiony zakres operacji technologicznych w warunkach laboratoryjnych skutkowało znacznym podwyższeniem względnej odporności na zużywanie ściernie, wyznaczonej w warunkach ścierania w obecności luźnego ścierniwa – elektrokorund 90.

NOWOCZESNE, DIAMENTOPODOBNE POWŁOKI TRIBOLOGICZNE

**Marcin Kot ^{1*}, Łukasz Major ², Piotr Osada ¹, Remigiusz Michalczewski ³,
Jurgen Lackner ⁴**

¹ *Akademia górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Mechanicznej
i Robotyki, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków*

² *Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN, Ul. Reymonta 25, 30-059 Kraków*

³ *Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Technologii i Eksploatacji,
ul. K. Pułaskiego 6/10, Radom 26-600*

⁴ *Joanneum Research; Laserzentrum Leoben; Austria*

Słowa kluczowe: powłoki węglowe, tarcie, zużycie, mikrostruktura

Praca przedstawia kierunki rozwoju powłok węglowych zmierzające do poprawy ich właściwości mechanicznych i tribologicznych. Przedstawiono możliwości modyfikacji takich powłok poprzez zmianę ich mikrostruktury. Główne kierunki rozwoju to powłoki:

- nanokompozytowe (MC/a-C), w których wprowadza się nanocząstki ceramiczne do osnowy węglowej,

- wielowarstwowe typu meta/węgiel lub ceramika/węgiel (M/a-C i Cer/a-C), gdzie pomiędzy warstwy węglowe wprowadza się międzywarstwy ceramiki lub metalu,

- adaptacyjne, w których wprowadzane są nanocząstki poprawiające właściwości tribologiczne i pozwalające na adaptację powierzchni powłoki do warunków eksploatacji.

Praca ma charakter przeglądu nowych kierunków rozwoju powłok węglowych na podstawie wyników wieloletnich prac własnych, projektów i aplikacji takich powłok oraz przeglądu najnowszej literatury. Przedstawione zostaną analizy mikrostruktury przy użyciu takich technik jak SEM, TEM, spektroskopia ramanowska oraz badania właściwości mechanicznych – nanoindentacji, scratch, odporność na pękanie i testów tribologicznych wykonywanych w różnych warunkach – temperatura, atmosfera.

Na podstawie wyników badań przedstawione zostaną wytyczne do projektowania nowych powłok węglowych o zaawansowanej mikrostrukturze.

WPLYW DODATKU WYBRANEJ CIECZY JONOWEJ NA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE STALI

Joanna Kowalczyk^{1*}, Monika Madej¹, Marcin Kowalski²

¹ Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, al.
Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

² Politechnika Warszawska Filia w Płocku, Wydział Mechaniki i Petrochemii,
ul. Ignacego Łukasiewicza 17, 09-400 Płock

*Adres korespondencyjny: e-mail: jkowalczyk@tu.kielce.pl

Słowa kluczowe: ciecz jonowa BMIMPF₆, PAO 8, tarcie, zużycie, stal

Abstrakt

W artykule zbadano wpływ dodatku cieczy jonowej 1-Butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate BMIMPF₆ do oleju polialfaolefinowego PAO 8 na właściwości tribologiczne stali. Badania tarcio-zużyciowe zrealizowano na testerze tribologicznym pracującym w skojarzeniu trącym kula-tarcza w ruchu obrotowym. Testy przeprowadzono przy obciążeniu 10 N na drodze tarcia równej 1000 m. Do badań użyto tarcz i kul wykonanych ze stali 100Cr6. Badania zrealizowano w warunkach smarowania cieczą jonową BMIMPF₆, olejem poli(α)olefinowym PAO 8, olejem poli(α)olefinowym PAO 8 z dodatkiem 1% oraz 10% cieczy jonowej BMIMPF₆. Po testach tribologicznych zarówno tarcze, jak i kule poddano obserwacjom mikroskopowym – analizowano mikrostrukturę oraz strukturę geometryczną powierzchni w miejscu wytarcia. Uzyskane wyniki z badań wskazały, że ilość dodatku cieczy jonowej w oleju PAO 8 ma wpływ na właściwości tribologiczne stali 100Cr6. Dla 10% stężenia BMIMPF₆ w oleju PAO 8 uzyskano większą wartość współczynnika tarcia o około 30% i mniejsze zużycie tarczy o około 35% w porywaniu ze środkiem smarującym zawierającym 1% stężenia BMIMPF₆ w PAO 8. Z kolei porównując zużycie kul, najmniejsze wytarcie zarejestrowano dla 1% stężenia BMIMPF₆ w PAO 8, a największe dla oleju PAO 8

ZAGADNIENIA TRIBOLOGICZNE WYSTĘPUJĄCE W DYNAMICZNYM IMPLANCIE ŚRÓDSZPIKOWYM DO WYDŁUŻANIA KOŚCI DŁUGICH - ORTHONAIL

Piotr Kowalewski^{1*}, Dominika Grygier¹, Mariusz Opałka¹

¹*Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, ul. I. Łukasiewicza 5,
50-371 Wrocław*

**Adres korespondencyjny: e-mail: piotr.kowalewski@pwr.edu.pl*

Słowa kluczowe: wydłużanie kości długich, tarcie, inżynieria biomedyczna, ortopedia,
gwóźdź śródszpikowy

Przedstawiony referat dotyczy identyfikacji węzłów tarcia i ich specyfiki w zaawansowanym implancie ortopedycznym jakim jest gwóźdź śródszpikowy. Analizie poddany został gwóźdź OrthoNail, który posiada napęd hybrydowy: magneto-mechaniczny. Ze względu na środowisko, w którym implant jest eksploatowany (organizm ludzki) i bardzo wyjątkowy charakter ruchu (jedynie jednorazowy wysuw) elementy łożyskujące, przekładnia planetarna i układy uszczelniające pracują w bardzo nietypowy sposób. W ramach pracy odpisane zostało wszystkie 11 węzłów tarcia. Scharakteryzowane zostały ich rodzaj ruchu i czas pracy jak również obciążenia i warunki smarowania.

Dodatkowo przedstawiono wyniki badań wpływu warunków obciążenia (siła wysuwu implantu) oraz długości gwintu czynnego na sprawność przekładni śrubowej będącej głównym mechanizmem implantu. Przedstawione zostały również wyniki badań tribologicznych opracowanej dla OrthoNail przekładni planetarnej.

Przeprowadzone analizy oraz testy wykonane na etapie badań przemysłowych, wykazały złożoność zagadnień tribologicznych, które występują w dynamicznych implantach ortopedycznych oraz pozwoliły na identyfikację nowych zjawisk będących efektem tarcia, a które nie występują typowych maszynach.

KONCEPCJA HYBRYDOWYCH POWIERZCHNI ŚLIZGOWYCH ZAWIERAJĄCYCH MATERIAŁY POLIMEROWE DO ZASTOSOWAŃ KOSMICZNYCH

Piotr Kowalewski ¹, Martyna Kielb ^{1*}

¹Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, ul. I. Łukasiewicza 5,
50-371 Wrocław

*Adres korespondencyjny: e-mail: martyna.kielb@pwr.edu.pl

Słowa kluczowe: materiały ślizgowe, polimery, stopy metali, ceramika, hybrydowe struktury ślizgowe

Zastosowanie polimerowych materiałów ślizgowych w warunkach kosmicznych jest ograniczone ze względu na występowanie dużego gradientu temperatur, promieniowania oraz atmosfery próżni. W takim środowisku tworzywa sztuczne ulegają szybkiej degradacji i odparowaniu. Jednak ze względu na fakt, że wspomnianą grupę materiałów charakteryzują bardzo dobre własności ślizgowe, w referacie przedstawiono ideę i analizę możliwości technologicznych wykonania hybrydowych konstrukcji ślizgowych zawierających polimery.

Autorzy opracowali koncepcję materiału lub grubej powłoki z metaliczną lub ceramiczną matrycą, wewnątrz której znajdują się wybrane polimery ślizgowe. Pomysł zakłada, że matryca i zdegradowana warstwa polimeru zabezpiecza tworzywo przed niekorzystnym wpływem środowiska. Podczas współpracy cieplej, na powierzchnię tarcia przenoszona jest część odsłanianego, nowego tworzywa. Wytworzony w ten sposób film polimerowy redukuje tarcie i zużywanie, a tworzywo pełni rolę uwalnianego smaru stałego.

Zaproponowanymi materiałami, spełniającymi funkcję matrycy są stopy metali (Ti-6Al-4V oraz Al-Cu) lub ceramika (ZrO₂, SiC oraz B₄C). W roli wypełnienia przewidziane są tworzywa z grupy fluoropolimerów (PTFE, ETFE), poliimidów (Kapton) lub poliairyloeteroketonów (PEEK). Technologie, mogące pozwolić na wytworzenie struktur tego typu obejmują: druk 3D (SLM, DMLS), metalurgię proszków lub obróbkę mechaniczną, laserową bądź plazmową.

W dalszej kolejności przewidziane są badania na konkretnych kombinacjach materiałów, dotyczące aspektów technologicznych, jak i trudnych warunków występujących w przestrzeni kosmicznej.

PROGRAM „DOKTORAT WDROŻENIOWY” W ODNIESIENIU DO SPECYFIKI ZAGADNIEN TRIBOLOGICZNYCH

Janusz Krawczyk ^{1*}, Michał Wieczorowski ², Jolanta Królczyk ³, Andrzej Kurkiewicz ⁴

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki
Przemysłowej, Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

² Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań

³ Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, ul. S. Mikołajczyka 5, 45-271 Opole

⁴ Uniwersytet Jagielloński, Wydział Zarządzania i Komunikacji Społecznej,
ul. Łojasiewicza 4, 30-348 Kraków

*Adres korespondencyjny: e-mail: jkrawcz@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: tribologia, doktorat wdrożeniowy, inżynieria mechaniczna, inżynieria materiałowa, eksploatacja

Tribologia jest nauką, którą można wiązać z większością zagadnień w naukach inżynierskich jak i naukach podstawowych. Bardzo często zużycie w wyniku eksploatacji jest parametrem, który determinuje wprowadzenie zmian technologicznych. Można więc wskazać, że częstym warunkiem wdrożenia rozwiązań technicznych/technologicznych jest ograniczenie zużycia. Istotną rolę odgrywają tu aspekty metrologiczne opisujące efekty zużycia. Wszystko to czyni zagadnienia tribologiczne predystynowanymi do opracowania w ramach tzw. doktoratów wdrożeniowych. Zagadnienie programu „Doktorat Wdrożeniowy” pod kątem rozwiązywania problemów zużycia narzędzi oraz konstrukcji jest głównym aspektem niniejszego opracowania. W tym zakresie istotnym jest to że obok sztucznej inteligencji również metrologia stała się wyróżnioną dziedziną w programie „Doktorat Wdrożeniowy”. Głównym aspektem tego opracowania jest prezentacja sposobów podejścia do sformułowania problematyki, która może być tematem doktoratu wdrożeniowego i jest powiązana z tribologią. Tematyką opracowania jest wybór firmy, sformułowanie tematu, sformułowanie zagadnienia naukowego, sformułowanie zagadnienia wdrożeniowego, modelowy indywidualny plan badawczy, metodyka badań, wskazanie wdrożenia oraz aspekty prowadzenia doktoratu w ramach wymagań Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego jak i Szkół Doktorskich.

Program Nauka dla Społeczeństwa II, edycja 1, nr grantu Nds-II/SP/0373/2023/01

Upowszechnianie dobrych praktyk realizacji Programu pn. "Doktorat wdrożeniowy,,

CHARAKTERYZACJA WARSTWY WIERZCHNIEJ DRUTÓW RETENCYJNYCH

Jolanta Krupa ^{1*}, Sławomir Zimowski ¹, Maciej Jedliński², Joanna Janiszewska-Olszowska²

¹ AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki,
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30

² Pomorski Uniwersytet Medyczny, Wydział Medycyny i Stomatologii,
70-204 Szczecin, ul. Rybacka 1

*Adres korespondencyjny: e-mail: krupa@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: właściwości mikromechaniczne, topografia powierzchni, druty retencyjne.

Druty retencyjne wykorzystywane są w budowie stałych aparatów retencyjnych, które służą do utrwalenia pozycji zębów uzyskanej podczas fazy aktywnej leczenia ortodontycznego. Mocowane są do zębów po wewnętrznej stronie łuku zębowego przy użyciu specjalnego kleju kompozytowego. Druty te wytwarzane są najczęściej z wysokiej jakości stali nierdzewnej i przyjmują różne kształty: drutu płaskiego, plecionego, jednosplotowego lub spiralnie skręconego. Aparat retencyjny jest zindywidualizowany w zależności od potrzeb pacjenta, dlatego znajomość cech użytkowych drutu decyduje o właściwym jego doborze oraz wpływa na trwałość aparatu.

Zużycie drutów retencyjnych jest wynikiem działania sił okluzyjnych oraz tarcia w środowisku korozyjnym, które zachodzi głównie podczas rozdrabniania jedzenia. Czynniki te mogą doprowadzić z czasem do przetarcia drutu, które prowadzi do zerwania. Stan warstwy wierzchniej ma decydujące znaczenie w zapewnieniu odporności na zużycie oraz wytrzymałości połączenia klejowego i rzutuje na trwałość oraz skuteczność aparatu.

Prace badawcze, mające na celu charakteryzację warstwy wierzchniej wybranych drutów retencyjnych polegały na opisie struktury geometrycznej powierzchni oraz zbadaniu właściwości mikromechanicznych tj.: twardości i modułu sprężystości wyznaczonych metodą indentacyjną. Przedmiotem badań były komercyjne druty wykorzystywane w praktyce ortodontycznej. Wyniki badań pozwoliły na wskazanie tych cech materiałów, które pozwalają na zapewnienie potencjalnie najwyższej adhezji podczas mocowania drutów oraz stosunkowo najwyższej odporności na zużycie ścierne i odkształcenie plastyczne.

EROZJA STRUMIENIOWO-ŚCIERNA STALI 40H WSTĘPNIE ODKSZTAŁCONEJ

Bazyli Krupicz^{1*}, Wojciech Tarasiuk², Paweł Krupicz²

¹*Politechnika Białostocka Wydział Inżynierii Zarządzania
ul. Ojca Tarasiuka 2, 16-001 Kleosin*

²*Politechnika Białostocka Wydział Mechaniczny
ul. Wiejska 45, 15-351 Białystok*

³*Stangl Technik Polska Sp. z o.o., Polska*

*Adres korespondencyjny: e-mail: b.krupicz@pb.edu.pl

Słowa kluczowe: stal 40H, umocnienie odkształceniowe, szybkość erozji, kryterium erozji

Celem pracy jest zbadanie wpływu umocnienia odkształceniowego materiału na prędkość erozji pod wpływem strumienia cząstek piasku kwarcowego. Do prób wybrano stal 40H. Jest to stal chromowa o szerokim zastosowaniu w budowie maszyn i urządzeń. Całkowite wydłużenie próbki rozciąganej do zerwania wynosiło 10%. Badania erozyjne wykonano na próbkach nieodkształconych i odkształconych podczas jednoosiowego rozciągania. Odkształcenie próbek wynosiło: 2,7%, 5,1%, i 7,3%. Kąt między osią strumienia cząstek i próbką był równy 25° i 90° a prędkości strumienia 22,6 m/s, 34,1 m/s i 57,1 m/s. Stwierdzono, że podczas trwałych odkształceniach próbek stali 40H następowało umocnienie odkształceniowe. Przejawiało się ono zwiększeniem twardości. Większemu odkształceniowi próbek odpowiadało zmniejszenie pracy właściwej do zerwania próbki i zwiększenie szybkości erozji.

**WYKORZYSTANIE WŁAŚCIWOŚCI WARSTWY WIERZCHNIEJ
W MINIMALIZACJI ZUŻYCIA CIERNEGO W ODLEWACH
Z ŻELIWA SFEROIDALNEGO**

**Piotr Kuryło ^{1*}, Grzegorz Słowik ¹, Edward Tertel ¹, Adam Wysoczański ²,
Piotr Bonarski ², Joanna Cyganiuk ¹**

*¹Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny,
Profesora Zygmunta Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra*

² Chef Executive Officer in Industrial Support Group Sp. z o.o.

**Adres korespondencyjny: e-mail: P.Kurylo@ibem.uz.zgora.pl*

Słowa kluczowe: warstwa wierzchnia, strefa reakcji, strefa przejściowa, zużycie ścierne,

W pracy określono zakres i postać warstwy wierzchniej odlewu z żeliwa sferoidalnego. Wykazano możliwość wykorzystania w zakresie strefy przejściowej warstwy wierzchniej odlewu powierzchni roboczej. W opracowaniu wskazano, iż celowo ukształtowana warstwa wierzchnia może charakteryzować się określonymi właściwościami technologicznymi i eksploatacyjnymi, co może stanowić kryterium zastosowania danego materiału i jego wykorzystania w budowie maszyn. W opracowaniu wskazano także na możliwość wykorzystania strefy przejściowej do ukształtowania w jej zakresie powierzchni eksploatacyjnej. Możliwość wykorzystania strefy przejściowej prowadzi do minimalizacji naddatków technologicznych oraz daje możliwość określenia modelu zużycia powierzchni wyrobów a tym samym istnieje możliwość określenia optymalnych właściwości eksploatacyjnych dla powierzchni roboczych.

**ZUŻYCIE ŚCIERNE GŁOWY ENDOPROTEZY STAWU BIODROWEGO
WYWOŁANE OBECNOŚCIĄ BIOCERAMIKI KORUNDOWEJ STOSOWANEJ
W INŻYNIERII TKANKOWEJ – STUDIUM PRZYPADKU**

Marzena Lachowicz ^{1*}, Ziemisław Stępniewski ²

¹ Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, ul. Łukasiewicza 7-9, 50-371 Wrocław

² Orthos – Szpital Wielospecjalistyczny, ul. Wroclawska 2A, 52-229 Komorowice

*Adres korespondencyjny: e-mail: marzena.lachowicz@pwr.edu.pl

Słowa kluczowe: endoproteza stawu biodrowego, zużycie ścierne głowy endoprotezy, bioceramika, inżynieria tkankowa, badania metalograficzne

Słabym ogniwem endoprotez stawu biodrowego oraz kolanowego okazuje się zazwyczaj polietylenowa wkładka, która wykazuje tendencję do przedwczesnego zużycia wywołanego degradacją polimeru. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań endoprotezy stawu biodrowego, która uległa zniszczeniu w bardzo nietypowy sposób. Obserwowano intensywne zniszczenie głowy endoprotezy wykonanej ze stopu kobaltu, co skutkowało zaawansowaną metalozą tkanek otaczających implant przy jednoczesnym zachowaniu wymiarów geometrycznych polietylenowej wkładki. Przeprowadzone badania wykazały, że przyczyną zniszczenia głowy było postępujące zużycie ścierne wywołane obecnością na powierzchni polimerowej wkładki zakotwiczonych cząstek porowatej bioceramiki korundowej. Jej etymologia związana jest z przeprowadzonym przed laty wcześniejszym leczeniu pacjenta, który opierał się na wykorzystaniu jej jako materiału z wyboru w inżynierii tkankowej. Obecność tych drobnych cząstek osadzonych w powierzchni polietylenu stała się przyczyną bardzo intensywnego mechanizmu zużycia głowy endoprotezy. Do opisu mechanizmu zniszczenia wykorzystano metody mikroskopowe SEM połączone z analizą EDS oraz mikroskopię świetlną, a także pomiary twardości na przekroju poprzecznym głowy endoprotezy. Nie stwierdzono wad materiałowych, które mogłyby przyczynić się do przyśpieszonego zniszczenia głowy endoprotezy.

OCENA INTENSYWNOŚCI ZUŻYCIA ŚCIERNEGO WARSTW NAPAWANYCH MATERIAŁAMI NA BAZIE FE-C-CR

Magdalena Lemecha^{1*}, Krzysztof Ligier¹, Jerzy Napiórkowski¹

¹*Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Technicznych, ul.
Michała Oczapowskiego 11, 10-719 Olsztyn*

**Adres korespondencyjny: e-mail: magdalena.lemecha@uwm.edu.pl*

Słowa kluczowe: warstwy napawane, zużycie ścierne, pierwiastki węglilotwórcze, stal odporna na ścieranie.

Materiały z dodatkami stopowymi znajdują coraz szersze zastosowanie, w branżach przemysłu budowlanego, górnictwa oraz rolnictwie, ze względu na wysoką odporność na zużycie ścierne. Dlatego zasadne jest prowadzenie badań mających na celu określenie wpływu dodatków stopowych na ograniczenie zużycia elementów roboczych. Zawartość i rodzaj poszczególnych pierwiastków wpływa także na kształt i wielkość wydzieleni węglilotwórczych.

W pracy przedstawiono analizę procesu zużywania stali odpornej na zużycie ścierne oraz materiałów napawanych o zróżnicowanym składzie chemicznym. Eksperyment przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem testera T-07. Jako ścierniwa użyto elektorkorundu #90. Podczas badań dokonywano analizy ubytku masy w funkcji drogi tarcia. Wykonano również analizę powierzchni badanych materiałów oraz przeprowadzono analizę cech geometrycznych wydzieleni węglilotwórczych.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że najmniej zużywającym się materiałem spośród napoin była napoina zawierająca w składzie chemicznym, oprócz chromu i niobu, molibden, wanad i wolfram. Jej ubytek masy był niższy w porównaniu do stali odpornej na zużycie ścierne o ok. 80%. W przypadku napoiny, która zużyła się najwięcej stosunek ten wynosił ok. 50%.

Analiza powierzchni pozwala na stwierdzenie, że wielkość, geometria, a także ułożenie węglilotwórczych ma istotny wpływ na intensywność zużycia badanych materiałów. Na powierzchni badanych materiałów zaobserwowano typowe mechanizmy zużycia ściernego.

METODA ANALIZY STATYSTYCZNEJ ZJAWISK TARCIOWO-CIEPLNYCH W ŁOŻYSKACH TOCZNYCH

Dariusz Lepiarczyk ^{1*}

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Projektowania i Eksploatacji Maszyn,
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Słowa kluczowe: diagnostyka, termowizja, łożyska, węzły tarcia

Nieustanny rozwój technik diagnostycznych sprzyja coraz szerszemu zastosowaniu ich w różnych dziedzinach przemysłu. Jednym z istotnych obszarów jest diagnostyka intensywności zjawisk cieplnych towarzyszących pracy węzłów ciernych maszyn. Wykorzystaniem w diagnostyce technik termowizyjnych lub pomiarów kontaktowych temperatury może być bogatym źródłem informacji o stanie technicznym badanego obiektu technicznego. Zastosowanie diagnostyki z wykorzystaniem technik termowizyjnych umożliwia precyzyjne zlokalizowanie wadliwie funkcjonujących elementów maszyn i urządzeń oraz dokonanie skutecznej naprawy bez niepotrzebnej wymiany prawidłowo działających części. Szczególnie ma to znaczenie w elementach łożyskowych, w których względny ruch obrotowy powoduje wydzielanie znacznej ilości ciepła w wyniku tarcia współpracujących elementów.

W opracowaniu przedstawiono wyniki badań wykonane dla wybranych węzłów ciernych, pracujących w różnych warunkach eksploatacyjnych. Przeprowadzono analizę statystyczną wybranych parametrów tribologicznych zachodzących w procesie tarcia badanych węzłów ciernych. Przedstawiona w opracowaniu analiza wyników pomiarów pozwoli na opracowanie metodyki oceny poprawnego stanu pracy węzłów tarcia łożysk tocznych. Weryfikację opracowanej metody badawczej przeprowadzono w oparciu o akwizycję danych z czujników przyspieszenia i temperatur zainstalowanych na różnych elementach stanowiska pomiarowego oraz w oparciu o wyniki uzyskane z pomiarów termowizyjnych.

ZUŻYCIE ŚCIERNE STALI NARZĘDZIOWEJ X153CRMOV12 O ZRÓŻNICOWANEJ ZAWARTOŚCI NIOBU

Tadeusz Leśniewski ^{1*}, Marzena Lachowicz ¹, Marek Hawryluk ¹,
Jan Marzec ¹

¹Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Wybrzeże Stanisława
Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

*Adres korespondencyjny: e-mail: tadeusz.lesniewski@pwr.edu.pl

Słowa kluczowe: zużycie ścierne, mikrostruktura, twardość, stal narzędziowa do pracy na zimno, zawartość niobu

Oceniono wpływ dodatku niobu na mikrostrukturę, twardość i zużycie stali narzędziowej do pracy na zimno gatunku X153CrMoV12. Scharakteryzowano stale zawierające odpowiednio 0,06% wag. oraz 0,20% wag. niobu z wykorzystaniem metod mikroskopii świetlnej, elektronowej skaningowej, pomiarów twardości oraz badań tribologicznych. Badanie odporności na ścieranie wybranych materiałów prowadzono na stanowisku badawczym T-07. Zachowanie stali w warunkach oddziaływań tribologicznych oceniono z wykorzystaniem elektronowej mikroskopii skaningowej. Wyniki pokazały, że cząstki ścierne miały oczywisty wpływ na utratę masy ściernej stali, ale zawartość niobu decydowała o względnej odporności na zużycie. Stal o zawartości niobu 0,20% wag. charakteryzowała się wyższą twardością, co przełożyło się ostatecznie na wyższą odporność na ścieranie. Efekt ten powiązano z obecnością w stali wydzieleni węglików niobu.

WPLYW DODATKU DWUSIARCZKU MOLIBDENU NA WŁASNOŚCI SMARNE OLEJÓW PRZEKŁADNIOWYCH STOSOWANYCH W PRZEKŁADNIACH WIATROWYCH

Dr inż. Albert Lewandowski ^{1*}

¹ *Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny,
ul. Licealna 9, 65-417 Zielona Góra*

**Adres korespondencyjny: e-mail: a.lewandowski@iim.uz.zgora.pl*

Słowa kluczowe: właściwości smarne, zużycie tribologiczne, dwusiarczek molibdenu, przekładnie zębate, chropowatość powierzchni.

Publikacja ma na celu przedstawienie wyników badań wpływu dwusiarczku molibdenu MoS₂ o różnych wielkościach stężenia procentowego - 3%, 4% i 5% - na właściwości smarne oleju przekładniowego 80W90 stosowane w przekładniach wiatrowych. W pierwszej części artykułu zostały przedstawione podstawowe wiadomości na temat wpływu dwusiarczku molibdenu MoS₂, oraz możliwości ich zastosowania w dziedzinie tribologii. W drugiej części publikacji zaprezentowano wyniki badań własnych właściwości smarnych olejów przekładniowego 80W90 z dodatkiem 3%, 4% i 5% dwusiarczku molibdenu MoS₂, oraz wyniki badań tribologicznych węzła tarcia przyjętego do badań. Badania zostały przeprowadzone w dwóch etapach. W pierwszym etapie zostały określone właściwości smarne oleju 80W90 wraz z % dodatkami dwusiarczku molibdenu. Badania właściwości smarnych zrealizowano przy wykorzystaniu aparatu czterokulowego T-02. W drugim etapie przeprowadzono badania tribologiczne za pomocą testera T-05. Węzeł tarcia został skojarzony w postaci próbki wykonanej ze stali 18HGT oraz przeciwpróbki wykonanej ze stali C45 i poddany procesowi tarcia w obecności oleju przekładniowego z dodatkiem 3%, 4% i 5% MoS₂. Dokonano także badania stereometrii powierzchni w śladzie zużycia próbek po badaniach tribologicznych. Badania potwierdziły pozytywny wpływ zastosowania do badanego środka smarowego 80W90 dodatków dwusiarczku molibdenu MoS₂ na właściwości tribologiczne skojarzenia trącego, oraz na poprawę parametrów stereometrii powierzchni.

STANOWISKOWE BADANIA ZUŻYCIA ENDOPROTEZ STAWU BIODROWEGO TYPU METAL-METAL WYKONANYCH ZE STOPU Co28Cr6Mo

Michał Libera^{1*}, Tomasz Wiśniewski²

¹Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu,
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

²Sieć Badawcza Łukasiewicz-Poznański Instytut Technologiczny,
ul. Ewarysta Estkowskiego 5, 61-755 Poznań

*Adres korespondencyjny: e-mail: michal.libera@put.poznan.pl

Słowa kluczowe: endoprotezy typu metal-metal, zużycie

W pracy podjęto problematykę zużycia tribologicznego elementów endoprotezy stawu biodrowego typu metal-metal. Badania tribologiczne przeprowadzono przy użyciu symulatora do badania endoprotez stawu biodrowego SBT.01, który realizuje ruchy zgięcia i wyprostu oraz obciążenia występujące w stawie biodrowym człowieka podczas chodzenia. Przedmiotem badań były endoprotezy stawu biodrowego wykonane z wysokowęglowego stopu Co28Cr6Mo. Testy tarciovo-zużyciowe przeprowadzone zostały dla dziewięciu wariantów ustawień komponentów endoprotezy „głowa-panewka”, różniących się wartościami kątów antetorsji głowy i antewersji panewki. Kąty inklinacji i szyjkowo-trzonowy były takie same dla wszystkich wariantów ustawień. Wartości kątów określone zostały na podstawie obrazów tomografii komputerowej (CT) uzyskanych z wyników badań pacjentów po endoprotezoplastyce. W rezultacie opracowano zależności pomiędzy zużyciem masowym elementów endoprotez, a współczynnikiem tarcia uzależnionym od kąta antetorsji głowy oraz kąta antewersji panewki.

WPLYW METODY BADANIA NA OCENĘ ODPORNOŚCI POLIURETANÓW NA ZUŻYCIE ŚCIERNE

Krzysztof Ligier^{1*}, Magdalena Lemecha¹, Jerzy Napiórkowski¹

¹*Uniwersytet Warmińsko-Mazurski i M. Oczapowskiego w Olsztynie, Wydział
Nauk Technicznych, 10-719 Olsztyn, ul. Oczapowskiego 11*

**Adres korespondencyjny: e-mail: krzysztof.ligier@uwm.edu.pl*

Słowa kluczowe: zużycie ścierne, poliuretany, naturalne masy ścierne.

W pracy przedstawiono wyniki badania odporności na zużycie ścierne poliuretanów o zróżnicowanej twardości. Oceny odporności na zużycie ścierne dokonano metodą typu gumowe koło - suche ścierniwo oraz wirującej miski. W badaniach metodą gumowe koło- suche ścierniwo wykorzystano dwa rodzaje ścierniwa. W badaniach metodą wirującej miski wykorzystano różne rodzaje naturalnego ścierniwa pochodzenia mineralnego o wilgotności 20% i 35%. W przypadku wykorzystania metody gumowe koło- suche ścierniwo, badane poliuretany wykazały zależność ubytku materiału od twardości. Wraz ze wzrostem twardości poliuretanu rosło jego zużycie. Takiej zależności nie zaobserwowano w przypadku metody wirującej miski.

WPLYW MODYFIKACJI NAPOIN PLAZMOWYCH NA BAZIE Ni-Cr NA ICH WŁASNOŚCI MECHANICZNE I FUNKCJONALNE

Leszek Łatka ^{1*}, Monika Górnik ¹, Bernard Wyględacz ², Ewa Jonda ³,
Karolina Płatek ¹, Mirosław Szala ⁴

¹ Katedra Obróbki Plastycznej, Spawalnictwa i Metrologii, Wydział Mechaniczny,
Politechnika Wrocławska, ul. Łukasiewicza 7-9, 50-371 Wrocław

² Katedra Spawalnictwa, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika
Śląska, ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice

³ Katedra Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Wydział Mechaniczny
Technologiczny, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice

⁴ Katedra Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska,
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

*Adres korespondencyjny: leszek.latka@pwr.edu.pl

Słowa kluczowe: napawanie plazmowe proszkowe, mikrostruktura, odporność na zużycie
ścierne, odporność na erozję kawitacyjną

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań odporności na zużycie ścierne oraz erozji kawitacyjnej warstw napawanych plazmowo. Materiałami dodatkowymi były proszki na bazie Ni-Cr z różnymi udziałem modyfikatorów: (i) NiCrBSi, (ii) NiCrBSi+WC, (iii) NiCrCuMo. W pracy badano wpływ podstawowych parametrów procesu na geometrię, mikrostrukturę oraz poprawność wykonania pojedynczych ściegów. Następnie wykonano warstwy z zastosowaniem wybranych parametrów procesu dla każdego proszku i przeprowadzono badania odporności na zużycie ścierne oraz erozję kawitacyjną. Otrzymane wyniki badań analizowano w kontekście własności mechanicznych oraz mikrostruktury napoin. Na podstawie z przeprowadzonych badań stwierdzono, że napoina NiCrCuMo, charakteryzuje się ona zarówno wysoką odpornością na zużycie ścierne, jak i najwyższą na erozję kawitacyjną. Porównując wyniki badań uzyskane dla konwencjonalnej napoiny NiCrBSi, warstwa NiCrCuMo wykazuje ok. 25% mniejszą intensywność zużycia oraz ok. 15% mniejszą szybkość erozji kawitacyjnej.

**PRACTICAL LESSONS IN SPACE TRIBOLOGY AT HIGH VACUUM
AND MICRO-GRAVITY CONDITIONS – ESA EDUCATION ENGINEERING
STUDENTS’ PROJECT SLUGG OF THE GDANSK TECH UNIVERSITY
(POLITECHNIKA GDAŃSKA) AT TU BREMEN ZARM DROPTOWER FACILITY**

Jacek Łubiński^{1*}, Szymon R. Krawczuk², Adam Dąbrowski³, Daniel Cieślak⁴, Jakub Gierowski⁵, Julia Sulima⁶, Natalia Askierko⁷, Jan Ignacy Łubiński⁸, Natalia Pęczek⁹, Małgorzata Szczerska¹⁰

¹ * *Gdansk Tech, Faculty of Mechanical Engineering and Ship Technology, ul.G.Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Poland, jacek.lubinski@pg.edu.pl*

² *Gdansk Tech, Faculty of Mechanical Engineering and Ship Technology, ul.G.Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Poland, szymonrkrawczuk@gmail.com*

³ *Astronika sp. z o.o. ul. Bałtycka 18, 00-716, Warszawa, ADabrowsk@astronika.pl*

⁴ *Gdansk Tech, Faculty of Electronics, Telecommunications and Informatics, ul.G.Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Poland, cieslak.a.daniel@gmail.com*

⁵ *Gdansk Tech, Faculty of Electronics, Telecommunications and Informatics, ul.G.Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Poland, jakub.gierowski@pg.edu.pl*

⁶ *Faculty of Mechanical Engineering and Ship Technology, Gdańsk University of Technology, Gabriela Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Poland, julia.sulima16@gmail.com*

⁷ *Gdansk Tech, Faculty of Electronics, Telecommunications and Informatics, ul.G.Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Poland, nataliaaskierko@gmail.com*

⁸ *Faculty of Mechanical Engineering and Ship Technology, Gdańsk University of Technology, Gabriela Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Poland, ignacy.lubinski11@gmail.com*

⁹ *Faculty of Mechanical Engineering and Ship Technology, Gdańsk University of Technology, Gabriela Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Poland, natka.wojkow@gmail.com*

¹⁰ *Gdansk Tech, Faculty of Electronics, Telecommunications and Informatics, ul.G.Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Poland, malszcze@pg.edu.pl*

Słowa kluczowe: space tribology, high vacuum, microgravity, solid lubricants, micro-sliding

The paper is a reminiscence of a research project on the tribological performance of bolt – flange type connection with micro-slipping metal-to-metal contacts as a function of lubrication and outer-space-like-conditions. Early results and conclusions are presented as an illustration of the task realized and an indicative of the potential, practical impact of the results on the industry’s challenges.

The undertaking was a part of the ESA Education programme – an iconic example of the CDIO learning concept in action. The team involved was a multi-faculty group of students at the Gdansk Tech University (Politechnika Gdańska). The experiment concept is presented, along with the realisation process and the insight into the path of learning of the participants in both, technology and science of the exploration of space. A high vacuum tribometric system was

XLII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna 2024
10-13 września 2024 Jesionka



designed and purpose-built for use in micro-gravity conditions the drop tower facilities at TU Bremen ZARM centre, with the inclusion of the influence of the atmospheric gas and pressure starvation.

An overview is given of the specifics of the space tribology involved in the problem being under consideration, along with the conceptualization of the unique, prototype scientific equipment which was developed for use in the experimental campaign.

BADANIA EKOLOGICZNEJ CIECZY ELEKTROREOLOGICZNEJ PRZEZNACZONEJ DO ZASTOSOWANIA W PODZESPOŁACH HYDRAULICZNYCH

Ireneusz Musiałek¹, Karol Musiałek¹, Wojciech Iwanicki¹, Karol Osowski²,
Artur Olszak^{3*}, Andrzej Kęsy¹, Zbigniew Kęsy¹

¹Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Filia w Sandomierzu,
ul. Schinzla 13a, 27-600 Sandomierz

²Uniwersytet Radomski im. Kazimierza Pułaskiego, Wydział Mechaniczny
ul. Jacka Malczewskiego 29, 26-600 Radom

^{3*}Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Nowych Syntez Chemicznych
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 13a, 24-110 Puławy

*Adres korespondencyjny: artur.olszak@ins.lukasiewicz.gov.pl

Słowa kluczowe: ciecz elektroteologiczna, sprzęgła i hamulce hydrauliczne, oleje roślinne

Obecnie, ze względu na postępujący proces automatyzacji coraz szerzej stosowane są tak zwane "materiały inteligentne", których właściwości można zmieniać w wyniku oddziaływań zewnętrznych. Do tej grupy materiałów należą ciecze elektroteologiczne (ER), reagujące zmianą właściwości reologicznych na obecność pola elektrycznego. Stosowane w praktyce w podzespołach hydraulicznych, takich jak: sprzęgła, hamulce, amortyzatory, zawory, itd. ciecze elektroteologiczne składają się z cząstek stałych, cieczy bazowej oraz dodatków. Składniki cieczy ER mogą być pochodzenia naturalnego lub być związkami chemicznymi wytworzonymi przez człowieka, mającymi nieobojętny wpływ na środowisko naturalne.

W artykule przedstawiono badanie właściwości ekologicznej cieczy ER o nazwie eER1, składającej się z organicznych cząstek stałych, oleju roślinnego oraz wody, jako dodatku poprawiającego właściwości elektryczne tej cieczy. Ze względu na planowane wykorzystanie cieczy eER1 w podzespołach hydraulicznych wzięto pod uwagę proces jej zużycia. Badania obejmowały sporządzenie i porównanie charakterystyk reologicznych (krzywych płynięcia dla przepływu zaworowego i wleczonego) oraz elektrycznych (prądu upływu, napięcia przebicia) dla niezużytej i zużytej cieczy eER1. Na podstawie analizy wyników badań podano wytyczne dotyczące składu i zakresu stosowania i trwałości opracowanej ekologicznej cieczy elektroteologicznej oraz sformułowano wnioski ogólne.

OCENA WŁAŚCIWOŚCI ZUŻYCIOWYCH POWŁOK NATRYSKIWANYCH PLAZMOWO W GLEBOWEJ MASIE ŚCIERNEJ.

Jerzy Napiórkowski^{1*}, Magdalena Lemecha¹, Krzysztof Ligier¹, Marcin Kowalewski¹,

¹ *Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Technicznych,
ul. Oczapowskiego 11, 10-719, jerry.napiorkowski@uwm.edu.pl*

Słowa kluczowe: glebowa masa ścierna, powłoka ceramiczna, węgiel wolframu, zużycie

Środowiskiem, w którym istnieje ryzyko szybkiego zużywania jest glebowa masa ścierna, znacznie różniąca się właściwościami w zależności od rodzaju i właściwości losowych. Powszechnie znana jest metoda zwiększenia trwałości narzędzi obrabiających glebę poprzez napawanie warstw na powierzchni charakteryzujące się intensywnym zużyciem.

W ostatnim okresie nastąpił rozwój technologii nanoszenia cienkich warstw poprzez natryskiwanie plazmowe. Uzyskane w taki sposób warstwy są dobrze opisane w aspekcie oceny ich właściwości wytrzymałościowych i chemicznych. Brak jest informacji opisujących właściwości w warunkach zużywania w naturalnych warunkach glebowych.

Ocenie zużycia ściernego poddano próbki ze stali Harodox Extreme natryskiwane plazmowo (APS). Jako materiał natryskiwany zastosowano proszek na bazie węgla wolframu (WC-10Co-2Cr) oraz proszek na bazie tlenku aluminium ($Al_2O_3-3TiO_2$). Średnia grubość powłoki na bazie węgla wolframu wynosiła 0,4 mm, zaś powłoki ceramicznej 0,55 mm. Badania przeprowadzono na stanowisku „wirującej misy” w glebach lekkiej i średniej podczas tarcia na drodze 20 000 m. Ocenie poddano także stan wizualny powierzchni przed i po tarcu na mikroskopie cyfrowym.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono że zużycie powłoki ceramicznej było ponad dwukrotnie niższe od zużycia powłoki na bazie węgla wolframu niezależnie od rodzaju gleby. O przebiegu zużywania decyduje przede wszystkim sposób oddziaływania gleby na warstwę wierzchnią.

WPLYW MODYFIKACJI GRAFITEM POWŁOK TLENKOWYCH WYTWORZONYCH METODĄ PLAZMOWEGO UTLINIENIA ELEKTROLITYCZNEGO NA ICH WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE

Mateusz Niedźwiedz ^{1*}, Marek Bara ¹, Joanna Korzekwa ¹, Sławomir Kaptacz ¹,
Maciej Sowa ², Aleksander Olesiński ², Wojciech Simka ²

¹Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, 40-007
Katowice, ul. Bankowa 12

²Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny, 44-100 Gliwice, ul. B. Krzywoustego 6

*Adres korespondencyjny: 41-205 Sosnowiec, ul. Żytnia 10: e-mail: mateusz.niedzwiedz@us.edu.pl

Słowa kluczowe: powłoki tlenkowe, tribologia, stop magnezu, plazmowe utlenianie elektrolityczne

W artykule omówiono wpływ modyfikacji grafitem powłok wytworzonych poprzez plazmowe utlenianie elektrolityczne na właściwości tribologiczne. Powłoki tlenkowe wytworzono na stopie magnezu AZ31B przy użyciu tych samych parametrów utleniania, wykorzystując trapezoidalny kształt fali napięciowej oraz alkaliczny elektrolit dwuskładnikowy. Zastosowano stałe parametry utleniania: gęstość prądu 18 A/dm², czas utleniania 30 minut, częstotliwość impulsów 100 Hz oraz ograniczenie napięciowe w cyklach prądu dodatniego 400 V. Modyfikację grafitem przeprowadzono wykorzystując metodę ultradźwiękową, a parametry procesu (zawartość modyfikatora i czas obróbki) zostały dobrane na podstawie dwuwymiarowego planu badawczego. Właściwości tribologiczne powłok określono za pomocą testów tribologicznych przeprowadzonych na testerze T-17, wykorzystując węzeł tarcia typu trzpień-płytkę, w ruchu posuwisto-zwrotnym, przy warunkach tarcia technicznego suchego. Jako tribo-partner użyto trzpień wykonany z tworzywa PEEK-HPV. Na podstawie testów tribologicznych określono współczynnik tarcia μ , zużycie liniowe, zużycie masowe trzpienia oraz średnią zmianę masy próbki. Przed i po testach tribologicznych dokonano pomiarów profilografometrycznych zarówno dla powłok, jak i trzpieni. Badania pozwoliły na określenie parametrów chropowatości oraz krzywej nośności zarówno dla próbek, jak i przeciwpróbek. Dodatkowo przeprowadzono pomiary grubości powłoki tlenkowej oraz jej obrazowanie.

WPLYW CZĘSTOTLIWOŚCI DRGAŃ WYMUSZONYCH NA TARCIE STATECZNE PAR METAL-POLIMER

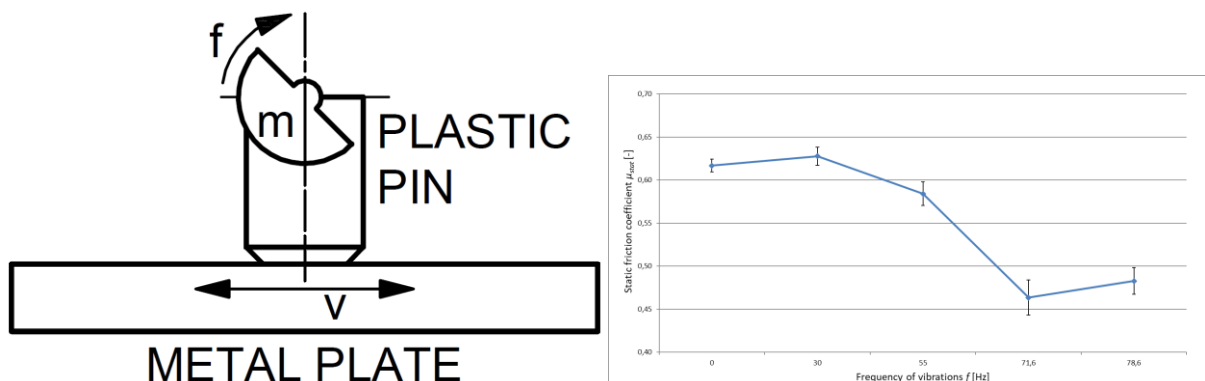
Mariusz Opałka^{1*}

¹Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny,
ul. Łukasiewicza 5, Wrocław 50-371

*Adres korespondencyjny: e-mail: mariusz.opalka@pwr.edu.pl

Słowa kluczowe: polimery, tarcie statyczne, drgania, rozruch, stick-slip

Ze względu na fakt, że podczas postępu pod obciążeniem zmienia się ich rzeczywista powierzchnia styku, co prowadzi do zwiększenia liczby połączeń adhezyjnych wartość siły tarcia statycznego jest zazwyczaj większa niż wartość siły tarcia kinetycznego. Powyższe przesłanki skłoniły do zbadania tych zagadnień i przeanalizowania wpływu drgań na opory tarcia statycznego w parach ślizgowych metal-polimer. Przeanalizowano wpływ drgań o różnej częstotliwości na opór tarcia statycznego (współczynnik tarcia statycznego).



Rys. 1. Schemat węzła tarcia zastosowanego w badaniach oraz przykładowy wynik dla PTFE

Do testów użyto różnych polimerów termoplastycznych: PTFE, PE-UHMW, PSU. Zostały one wybrane ze względu na fakt, że reprezentują szerokie spektrum właściwości mechanicznych i trybologicznych. Wyniki przeprowadzonych pomiarów pokazują, że w pewnym zakresie częstotliwości drgań współczynnik tarcia statycznego może spaść nawet o 25% w porównaniu do sytuacji, w której drgania nie występują. Przeprowadzone testy dowodzą, że częstość drgań wymuszonych mają wpływ na wartość współczynnika tarcia statycznego.

ANALIZA MECHANIZMÓW ZUŻYCIA NA POWIERZCHNI ROBOCZEJ KÓŁ ZĘBATYCH PO BADANIACH ZATARCIOWYCH

Edyta Osuch-Słomka^{1*}, Remigiusz Michalczewski¹, Andrzej Wieczorek²,
Marek Kalbarczyk¹

¹ Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Eksploatacji,
Centrum Tribologii, ul. K. Pułaskiego 6/10, Radom 26-600

² Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki
Przemysłowej, ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice

*Adres korespondencyjny: e-mail: edyta.slomka@itee.lukasiewicz.gov.pl

Słowa kluczowe: koła zębate, badania powierzchniowe, mechanizmy zużycia, zacieranie

Identyfikacja zmian zachodzących na powierzchni roboczej kół zębatach przekładni napędowych pracujących w środowisku smarnym, przy zastosowaniu aparatury analitycznej między innymi skaningowego mikroskopu elektronowego FE-SEM z mikroanalizatorem EDS, umożliwia analizę porównawczą odporności na zacieranie badanych powierzchni. Rozpoznanie i analiza mechanizmów zużycia powierzchni roboczej zęba zmniejszy ryzyko uszkodzenia przekładni napędowych i generowania strat z powodu konieczności ich serwisowania.

Badania dotyczyły powierzchni roboczych kół zębatach wykonanych ze stali 17HNM i 35HGSA, na powierzchni których osadzono powłokę W-DLC/CrN. Do smarowania przekładni zębatach wybrano handlowy olej przemysłowy Shell Omala S4 GX 320 z bazą syntetyczną PAO (polialfaolefiny). Testy tribologiczne przeprowadzono z wykorzystaniem przekładniowej metody badania zacierania (FZG) w warunkach, które umownie nazwano: warunkami zaostrzonymi i warunkami szokowymi, na stanowisku badawczym T-12U do badania kół zębatach walcowych.

WPLYW ŚRODOWISKA KOPALNIANEGO NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FUNKCJONALNE KOMERCYJNYCH SMARÓW PLASTYCZNYCH EKSPLOATOWANYCH W WĘZŁACH TARCIA MASZYN GÓRNICZYCH

Maciej Paszkowski ^{1*}, Piotr Stelmaszek ²

¹ Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Układów Mechatronicznych, Ignacego Łukasiewicza 7/9, 50-371 Wrocław

*Adres korespondencyjny: e-mail: maciej.paszowski@pwr.edu.pl

² KGHM Polska Miedź S.A., Marii Skłodowskiej-Curie 48, 59-301 Lubin

Słowa kluczowe: smar plastyczny, kopalnia, węzeł tarcia

W pracy zbadano wpływ agresywnego środowiska kopalnianego na wybrane właściwości funkcjonalne dwóch komercyjnych smarów plastycznych zagęszczanych nadzasadowym sulfonianem wapnia oraz 12-hydroksystearynianem litu, wytworzonych na bazie oleju mineralnego. Wykonano badania porównawcze smarów świeżych oraz poddanych eksploatacji w przegubie sworzniowym łyżka-wysięgnik ładowarki kołowo-przegubowej użytkowanej w kopalni miedzi Zakładu Górniczego Polkowice-Sieroszowice, należącego do grupy KGHM Polska Miedź (Polkowice, Polska). Oceniono wpływ agresywnego środowiska kopalnianego na zmianę punktu kroplenia ww. smarów (wg PN-ISO 2176:2011), odporność na wymywanie wodą w temperaturze 38 °C metodą dynamiczną (wg PN-ISO 11009:2011), a także właściwości przeciwrzeczne, wykorzystując do tego celu zmodyfikowaną metodą EMCOR (wg PN-EN ISO 9227:2012). Badania EMCOR wykonano w obecności roztworu 5% solanki. Dodatkowo przeprowadzono reologiczne testy dynamiczno-oscylacyjne smarów w temperaturze 40 °C, mające na celu określenie zmian strukturalnych wywołanych ich eksploatacją. Oceniono m.in. zmianę energii kohezji oraz modułu plateau smarów.

WPLYW WYBRANYCH WARSTW POWIERZCHNIOWYCH NA WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWE STOPU TYTANU Ti13Nb13Zr W SYSTEMACH BIOTRIBOLOGICZNYCH

Katarzyna Piotrowska^{1*}, Monika Madej²,

*^{1,2} Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn,
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce*

**Adres korespondencyjny: e-mail: kpawelec@tu.kielce.pl*

Słowa kluczowe: stop tytanu, PVD i PACVD, struktura geometryczna powierzchni, tarcie, zużycie, adhezja

Ocenie poddano właściwości powłok na bazie węgla i tytanu naniesionych metodami fizycznego i chemicznego osadzania z fazy gazowej ze wspomaganie plazmą na stopie Ti13Nb13Zr. Przedstawiono wyniki badań mikrostruktury, struktury geometrycznej powierzchni, właściwości mechanicznych oraz testów tribologicznych. Mikrostrukturę zbadano przy użyciu mikroskopii skaningowej, a do badań struktury geometrycznej powierzchni wykorzystano mikroskopię konfokalną. Do oceny adhezji uzyskanych powłok wykorzystano test zarysowania. Modelowe badania tribologiczne przeprowadzono w ruchu obrotowym w warunkach tarcia technicznie suchego oraz ze smarowaniem płynem Ringera oraz roztworami sztucznej śliny o pH 7.0 oraz 4.9. Wyniki badań mikrostruktury wskazały, że uzyskane powłoki a-C:H, TiCN oraz TiN:Ag charakteryzowały się jednorodną strukturą, bez defektów w postaci: pęknięć czy nieciągłości. Analiza wyników badań tribologicznych wskazała, że wszystkie analizowane powłoki charakteryzowały się mniejszymi oporami ruchu oraz intensywnością zużycia niż elementy bez pokrycia, co dodatkowo intensyfikowało zastosowanie środków smarowych w postaci roztworów symulujących płyny ustrojowe. Obserwacje mikroskopowe śladów zużycia po testach tribologicznych pozwoliły na identyfikację mechanizmów zużycia; w przypadku stopu Ti13Nb13Zr dominującym mechanizmem zużycia było zużycie tribochemiczne poprzez utlenianie, zużycie ściernie z bruzdowaniem i mikroskrawaniem oraz zużycie adhezyjne. Odmienne mechanizmy zużycia zidentyfikowano w przypadku powierzchni z powłokami na bazie węgla i tytanu, gdzie dominowało zużycie ściernie poprzez rysowanie i mikroskrawanie. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że osadzenie powłok przyczyniło się jednocześnie do nadania powierzchni stopu tytanu funkcji niskotarciowych i przeciwzużyciowych.

ŚLIZGOWY KOMPOZYT ZAWIERAJĄCY WĘGIEL SZKLISTY JAKO SMAR STAŁY

Andrzej Posmyk ¹, Jerzy Myalski ²

¹ Politechnika Śląska, Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice,

² Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice,

Słowa kluczowe:

Zaspokojenie potrzeb materialnych i niematerialnych ludzkości wymaga stosowania szerokiej gamy maszyn i urządzeń, w których występują skojarzenia ślizgowe. W celu zmniejszenia oporów tarcia decydujących m.in. o ich sprawności i zużyciu energii w ruchomych węzłach tych maszyn stosuje się, w większości rozwiązań, smarowanie. Ponieważ stosowane dotychczas środki smarowe, zarówno ciekłe jak i plastyczne ze względu na zanieczyszczanie środowiska, po ich zużyciu muszą zostać zutyliczowane, coraz częściej sięga się po smary stałe. Smary te nie wyciekają z nieszczelnych węzłów tarcia oraz pozwalają na zastosowanie w wyższych temperaturach niż oleje i smary plastyczne, ponieważ nie tracą lepkości wraz ze wzrostem temperatury.

Możliwość wytworzenia materiałów z wbudowanymi smarami stałymi daje technologia produkcji kompozytów. Zgodnie z hipotezą tarcia opracowaną przez Ernsta i Merchanta, w celu zmniejszenia oporów tarcia w skojarzeniu powinny być przynajmniej dwa materiały, w tym jeden o dużej twardości, a drugi o małej wytrzymałości na ścinanie. W kompozytach, materiałem o wysokiej twardości może być osnowa, a materiałem o niskiej wytrzymałości na ścinanie faza umacniająca pełniąca rolę smaru stałego. Materiałem mogącym dobrze spełnić rolę smaru stałego jest węgiel szklisty, który charakteryzuje się dużą twardością i niską wytrzymałością na ścinanie.

W zgłaszanej referacie zostaną opisane podstawy wytwarzania i wybrane właściwości tribologiczne kompozytu z osnową z odlewniczego stopu aluminium z krzemem i pianką z węgla szklistego pełniącą rolę umocnienia (zwiększa wytrzymałość na ściskanie stopów Al do przeróbki plastycznej nawet do 280%) oraz smaru stałego (wytrzymałość na ścinanie $\tau = 30-50$ MPa).

Wprowadzenie pianki z węgla szklistego do siluminu zmniejsza zużycie i współczynnik tarcia we współpracy z żeliwem GJL-250 w warunkach ograniczonego smarowania.

XLII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna 2024
10-13 września 2024 Jesionka



APLIKACJA WYBRANYCH WIELKOŚCI FIZYCZNYCH STOSOWANYCH W OPISIE TARCIOWYCH RELACJI MATERIAŁOWYCH DO OPISU MATERIAŁÓW OBUWNICZYCH

Jacek Przepiórka^{1*}, Marian Szczerek²,

¹Uniwersytet Radomski, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom

²Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Technologii Eksploatacji,
ul. K. Pułaskiego 6/10, Radom 26-600

*Adres korespondencyjny: e-mail: jacek.przepiorka@urad.edu.pl

Słowa kluczowe: tarcie, zużycie, bezpieczeństwo użytkowania, SEP

Abstrakt

Bezpieczeństwo użytkowania obuwia jest związane z charakterystykami tribologicznymi podeszew obuwia w skojarzeniu z podłożem. Restrykcyjne normy unijne odnoszące się do bezpieczeństwa użytkowania obuwia w powiązaniu ze starzejącym się społeczeństwem, wymuszają na producentach poszukiwania rozwiązań materiałowych, spód obuwia podłoże, pozwalających zagwarantować wymagany poziom bezpieczeństwa w powiązaniu z odpowiednio długim okresem użytkowania obuwia.

Intensywne badania prowadzone na całym świecie związane z bezpieczeństwem użytkowania obuwia, nie zmieniają faktu, że metody określania współczynnika tarcia i zużycia stosowane w przemyśle obuwniczym są przestarzałe, natomiast nowoczesne urządzenia tribologiczne pozwalające na otrzymywanie wiarygodnych wyników badań wymagają długich, wielogodzinnych biegów badawczych. Rozwiązaniem tego problemu jest powiązanie wielkości charakteryzujących stan powierzchni węzłów tarcia do określania charakterystyk tribologicznych materiałów obuwniczych.

W tym celu została wykorzystana reguły wiążącej charakterystyki tribologiczne z energetycznym stanem powierzchni trących do określania wielkości siły tarcia i zużycia skojarzenia podeszwy obuwniczej z podłożem.

BADANIA TRIBOLOGICZNE WYBRANYCH MATERIAŁÓW POLIMEROWYCH W KONTEKŚCIE POŁĄCZEŃ POSUWISTO-ZATRZASKOWYCH

Anita Ptak^{1*}, Wioleta Nowak¹

¹Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny,

ul. I. Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław

*Adres korespondencyjny: e-mail: anita.ptak@pwr.edu.pl

Słowa kluczowe: tribologia, polimery, pary jednoimiennie, tarcie statyczne, tarcie kinetyczne

Praca przedstawia wyniki badań współczynnika tarcia statycznego oraz kinetycznego jednoimiennych polimerowych par ślizgowych w zależności od dobranych parametrów wejściowych. Do badań wykorzystano wybrane pary materiałów POM – POM, PA6 – PA6, PET – PET, które były badane w warunkach tarcia technicznie suchego oraz w obecności wody przy różnych obciążeniach. Wykorzystane stanowisko tribologiczne umożliwiło przeprowadzenie eksperymentu w ruchu posuwisto – zwrotnym. Dla pełnego obrazu przeprowadzonego eksperymentu wykonano badanie topografii powierzchni, które pozwoliło na analizę powstałych śladów zużycia.

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że niezależnie od obciążenia największe wartości współczynnika tarcia zarówno statycznego, jak i kinetycznego, miała para polimerów PET – PET, a najmniejsze para PA6 – PA6. Ponadto, zaobserwowano zależność spadku współczynnika tarcia przy rosnącym obciążeniu dla większości badanych próbek. Poliamid w przypadku obu rodzajów współczynników wykazywał dwie zależności: w warunkach tarcia technicznie suchego jego wartość mniej więcej utrzymywała się na stałym poziomie, natomiast w obecności wody, wraz ze wzrostem obciążenia, następował gwałtowny i niemal liniowy spadek wartości tych współczynników. Otrzymane wyniki stanowią podstawę do dalszych badań w zakresie tribologii polimerów, a szczególnie skojarzeń par jednoimiennych oraz tarcia w obecności wody.

WŁAŚCIWOŚCI POWŁOK CrN i CrN-DLC W SYSTEMACH TRIBOLOGICZNYCH SMAROWANYCH SZTUCZNĄ ŚLINĄ

Krystyna Radoń-Kobus^{1*}, Monika Madej¹

¹ Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, al.
Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

*Adres korespondencyjny: e-mail: kradonkobus@tu.kielce.pl

Słowa kluczowe: powłoki diamentopodobne, powłoki CrN, sztuczna ślina, tribologia

Streszczenie: W pracy przedstawiono wpływ powłok CrN-DLC oraz CrN osadzonych techniką PACVD na właściwości tribologiczne oraz mechaniczne stali nierdzewnej 316L. Twardość powłok oraz stali 316L określono metodą instrumentalnej indentacji. Testy tribologiczne przeprowadzono na tribometrze TRB³ w ruchu obrotowym w skojarzeniu kula-tarcza. Jako przeciwpróbki użyto kulek wykonanych z Al₂O₃. Testy przeprowadzono w warunkach tarcia technicznie suchego oraz ze smarowaniem sztuczną śliną o pH 5.5 w temperaturze 39 °C obciążonych siłą normalną 5 N. Kulotester posłużył do określenia grubości powłok, a mikroskop konfokalny wykorzystano do badań struktury geometrycznej powierzchni przed i po testach tribologicznych. Tensjometr optyczny posłużył do zbadania kąta zwilżania. Zastosowanie powłok DLC oraz CrN wpłynęło na obniżenie wartości współczynnika tarcia odpowiednio o 85% i 10% dla tarcia technicznie suchego oraz o 82% i 44% dla tarcia ze smarowaniem sztuczną śliną. Wyniki badań wskazały na dobrą współpracę powłoki DLC oraz CrN z użytym środkiem smarowym.

XLII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna 2024
10-13 września 2024 Jesionka



OPTIMALIZACJA WIELOKRYTERIALNA NA PODSTAWIE MODELOWEGO SYSTEMU TRIBOLOGICZNEGO

Jarosław Sęp

*Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa,
35-959 Rzeszów, ul. Powstańców Warszawy 12
e-mail: jsep@prz.edu.pl*

Słowa kluczowe: system tribologiczny, optymalizacja jednokryterialna, optymalizacja wielokryterialna

Na przykładzie powierzchniowej warstwy dwuskładnikowej przedstawiono optymalizację parametrów konstrukcyjno-technologicznych z punktu widzenia podstawowych parametrów charakteryzujących systemy tribologiczne. Powierzchniowa warstwa dwuskładnikowa składa się z materiału podstawowego i pasmowo ułożonego w nim materiału modyfikującego. Do wytworzenia warstwy zastosowano technologię nagniatania. W badaniach rozważono modyfikację stali C45 miedzią, a rozpatrywanym modelowym systemem tribologicznym był układ rolka-kłosek, stanowiący parę badawczą testera T-05. Rozważaną warstwę ukonstytuowano na rolce, a kłosek testowego węzła stanowił przeciwpróbkę. Jako parametry wyjściowe systemu tribologicznego wybrano: odporność na zacieranie, zużycie tribologiczne oraz współczynnik tarcia. Jako istotne parametry sterowalne, na podstawie badań wstępnych, wybrano: siłę nagniatania, stopień pokrycia materiałem modyfikującym oraz średnicę drutu materiału modyfikującego. W pierwszym etapie przeprowadzono optymalizację jednokryterialną na podstawie modeli matematycznych otrzymanych wyniku realizacji eksperymentu zgodnie z planem statycznym dwupoziomowym zdeterminowanym kompletnym. Następnie wykorzystując metodę min-max przeprowadzono optymalizację trzykryterialną, wyznaczając optymalne parametry badanej warstwy z punktu widzenia trzech przyjętych kryteriów wyjściowych.

WPLYW WYBRANYCH ŚRODKÓW SMARNYCH NA WŁASNOŚCI MECHANICZNE I TRIBOLOGICZNE MATERIAŁÓW POLIMEROWYCH POCHODZĄCYCH Z RECYKLINGU WYTWORZONYCH METODĄ PRZYROSTOWĄ FDM/FFF

Bartosz Siwczyk^{1, 2*}, Aleksander Bączyk^{1, 2}, Aleksandra Kurowska²

¹Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Mechanicznej,
Prof. Z. Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra

²Uniwersytet Zielonogórski, Szkoła Doktorska Nauk Ścisłych i Technicznych,
al. Wojska Polskiego 69, 65-762 Zielona Góra

*Adres korespondencyjny: e-mail: b.siwczyk@iim.uz.zgora.pl

Słowa kluczowe: polimery; recyklaty/regranulaty; druk 3D; zużycie materiału; środki smarne

Produkty wytwarzane na bazie polimerów są wykorzystywane w wielu gałęziach przemysłu. Stanowią jeden z podstawowych materiałów do produkcji przedmiotów zarówno specjalistycznych i tych codziennego użytku. Popularność materiałów polimerowych ma odzwierciedlenie w ilości zalegających odpadów z tworzyw sztucznych. Szuka się takich materiałów polimerowych, które będą w stanie zastąpić dotychczas stosowane. Odpowiedzią na to zapotrzebowanie może być wykorzystanie tworzyw polimerowych z recyklingu i biopolimerów. Ma to zmniejszyć zużycie zasobów naturalnych i ograniczyć zanieczyszczenie środowiska. Materiały polimerowe ze względu na swoje szerokie zastosowanie pracują w różnych warunkach. Warunki pracy węzłów tarcia wykonanych z tych materiałów będą miały wpływ na jego strukturę właściwości mechaniczne i tribologiczne. Wpływ substancji chemicznych na pierwotne tworzywa sztuczne jest szeroko opisany w literaturze. Brakuje jednoznacznych danych na temat ich wpływu na substytuty w postaci biopolimerów i materiałów pochodzących z recyklingu. W pracy przeprowadzono wybrane badania wytrzymałościowe, tribologiczne oraz mikroskopowe. Przedstawiono wyniki badań nad wpływem wybranych środków smarnych na własności polimerów pierwotnych i tych samych pochodzących z recyklingu.

NANORURKI WĘGLOWE DEKOROWANE NIKLEM I MIEDZIĄ JAKO DODATKI PRZECIWZUŻYCIOWE I PRZECIWZATARCIOWE DO SMARÓW PLASTYCZNYCH

**Magdalena Skrzypek^{1*}, Łukasz Wojciechowski¹, Sławomir Boncel²,
Rafał Jędrzyński², Adam Marek², Szymon Ruczka², Paulina Błaszczewicz³,
Jarosław Kałużny¹**

¹*Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu,
ul. Piotrowo 3, 61-139 Poznań,*

²*Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny/Centrum Elektroniki Organicznej i
Nanohybrydowej (CONE), ul. Krzywoustego 4, 44-100 Gliwice*

³*Uniwersytet im. A. Mickiewicza W Poznaniu, Centrum NanoBioMedyczne,
ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań*

*Adres korespondencyjny: e-mail: magdalena.skrzypek@doctorate.put.poznan.pl

Słowa kluczowe: nanorurki węglowe, smar plastyczny, dodatki, tarcie, zużycie

Współczesna tribologia wciąż skupia swoją uwagę na opracowywaniu środków smarowych odpornych na wysokie temperatury i obciążenia. Nawet w takich warunkach nowoczesne lubrykanty powinny minimalizować opory ruchu oraz zużycie, maksymalnie wydłużając niezawodność eksploatacyjną węzłów tarcia. Osiągnięcie tego celu jest możliwe na różne sposoby, m.in. poprzez tworzenie innowacyjnych formułacji lub stosowanie dodatków poprawiających potencjał tribologiczny dostępnych na rynku olejów i smarów. W tej pracy skupiono się na drugim z tych aspektów, tj. zastosowaniu funkcjonalizowanych nanomateriałów węglowych jako dodatków do smaru plastycznego. Aby zwiększyć właściwości przeciwzużyciowe i przeciwzatarciowe nanowęgla, zaproponowano ich ulepszenie poprzez dekorowanie nanocząsteczkami dwóch metali: niklu oraz miedzi. Tak przygotowane nanomateriały zastosowano jako dodatki modyfikujące właściwości tribologiczne dostępnego komercyjnie smaru Mobil Mobilux EP1. Do smaru bazowego dodano nanorurki węglowe dekorowane wskazanymi metalami w stężeniu 0,1% (wag.). Właściwości AW i EP określono za pomocą zmodernizowanego, znormalizowanego testu ISO-20623 na aparacie czterokulowym. Właściwości AW określono za pomocą standaryzowanego parametru MWSD (średnia średnica skazy), a EP za pomocą LNSL (największe obciążenie niezacierające).

Smary wzbogacone nanorurkami dekorowanymi metalami wykazywały lepsze właściwości AW w porównaniu ze smarem referencyjnym przy wyższych obciążeniach (1-1,2 kN).

XLII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna 2024
10-13 września 2024 Jesionka



Szczególnie korzystne wyniki uzyskano dla smaru z dodatkiem nanorurek dekorowanych miedzią – np. dla obciążenia 1 kN smar z dodatkiem nanorurek dekorowanych Cu osiągnął MWSD wynoszącą ok. 1,35 mm w porównaniu do 2,96 mm dla referencji. Ten rodzaj dodatku miał również korzystny wpływ na LNSL, które wyniosło 1,4 kN dla nanorurek z Cu (1,2 kN dla pozostałych smarów).

XLII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna 2024
10-13 września 2024 Jesionka



WYBRANE ZAGADNIENIA TRIBOLOGICZNE W WARUNKACH OBNIŻONEJ GRAWITACJI

**Grzegorz Słowik^{1*}, Piotr Kuryło¹, Edward Tertel¹, Adam Wysoczański¹,
Piotr Bonarski¹, Joanna Cyganiuk¹**

¹*Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Profesora Zygmunta Szafrana
4, 65-516 Zielona Góra*

**Adres korespondencyjny: e-mail: g.slowik@iimb.uz.zgora.pl*

Słowa kluczowe: tribologia, trybokomponenty, mikrograwitacja, obniżona grawitacja, kosmos.

W przestrzeni kosmicznej części ruchome występują w wielu urządzeniach funkcjonujących na statkach kosmicznych i satelitach jak mechanizmy antenowe, kontrolne, wskaźnikowe, czy napędu paneli słonecznych. Problemy tribologiczne są przyczyną znacznej części awarii wymienionych mechanizmów. Nakłada to dodatkowe wymagania projektowe na trybokomponenty eksploatowanych w warunkach kosmicznych w celu zachowania i poprawienia ich żywotności. Mikrograwitacja stanowi bardzo istotny czynnik wpływający na prawidłowe funkcjonowanie maszyn i urządzeń znajdujących się w kosmosie. Stan mikrograwitacji trudno jest jednak uzyskać lub zasymulować w warunkach ziemskich. Mikrograwitacja wpływa na własności dynamiczne i wartość siły tarcia. Nieskompensowane tarcie w znaczący sposób przyczynia się do ograniczenia wydajności pracy urządzeń pracujących w stanie mikrograwitacji takich jak manipulatory kosmiczne. W warunkach kosmicznych bardziej odporne od smarów ciekłych są smary stałe. Podczas eksploatacji smarów stałych mikrograwitacja może mieć wpływ na kształt stref zanieczyszczeń nimi. Jednym ze sposobów przezwyciężenia problemów związanym ze smarowaniem w warunkach kosmicznych może być zastosowanie nowych materiałów. W przypadku układów mechanicznych pracujących w stanie mikrograwitacji znaczącą rolę odgrywają efekty wibracyjne. Wibracje mogą przyczynić się do zniszczenia elementów statku kosmicznego, jednak mogą być one tłumione przez zastosowanie smarów o odpowiednich własnościach mechanicznych zwiększających bezpieczeństwo i obniżających koszt misji kosmicznych. Opracowanie jest analizą możliwości zastosowania stosowanych środków smarnych w skrajnych i nie sprzyjających warunkach w tym w warunkach niskiej i wysokiej temperatury ze szczególnym uwzględnieniem obniżonej grawitacji podczas ich eksploatacji.

BADANIA TRIBOLOGICZNE POLIMERÓW PRZEZNACZONYCH DO REGENERACJI CHRZĄSTKI STAWOWEJ

**Anita Mańkowska-Snopczyńska^{1*}, Marian Szczerek¹, Remigiusz Michalczewski¹,
Marek Kalbarczyk¹, Edyta Osuch-Słomka¹, Marcin Kozanecki², Joanna Pietrasik³,
Gholamreza Charmi³, Mahdi Rahimi³, Karolina Turczyńska², Paulina Filipczak²**

¹*Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Eksploatacji, Centrum Tribologii, ul.
Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom*

²*Politechnika Łódzka, Wydział Chemiczny, Katedra Fizyki Molekularnej, ul. Żeromskiego 116,
90-543 Łódź*

³*Politechnika Łódzka, Wydział Chemiczny, Katedra Instytut Technologii Polimerów i Barwników,
ul. Żeromskiego 116, 90-543 Łódź*

*Adres korespondencyjny: e-mail: anita.mankowska@itee.lukasiewicz.gov.pl

Słowa kluczowe: badania tarciove, polimery, testy kula – tarcza, chrząstka stawowa

W opracowaniu przedstawiono wyniki badań tarciowych innowacyjnych polimerów opracowanych na Wydziale Chemicznym Politechniki Łódzkiej do zastosowań biomedycznych - do regeneracji chrząstki stawowej. Celem pracy była tribologiczna ocena efektywności działania polimerów o różnych grupach funkcyjnych, tworzących warstwy regenerujące chrząstki.

Badania tribologiczne pokrytych nimi płytek krzemowych wykonano w skojarzeniu kula–tarcza przy użyciu Nanotribometru NTR2. Przeciwpróbką była kulka ceramiczna Si₃N₄, o średnicy 2 mm. Na podstawie doświadczenia oraz testów wstępnych określono parametry badań. Przebadano cztery rodzaje polimerów. Jeden z nich wyznaczał poziom odniesienia dla trzech pozostałych, które charakteryzowały się innymi grupami funkcyjnymi. Przeprowadzone badania wykazały możliwość zapewnienia ustabilizowanego tarcia oraz wyznaczania wartości oporów tarcia w odniesieniu do każdego rodzaju polimeru, potwierdzając przydatność do tego celu opracowanej metody badań i tym samym stwarzając możliwość optymalizowania polimerów pod względem tribologicznym w aspekcie procesu ich komponowania.

WPLYW KĄTA PADANIA ZIARNA EROZYJNEGO NA ZUŻYCIE EROZYJNE POWŁOKI POLIMOCZNIKOWEJ DLA RÓŻNYCH WIELKOŚCI ZIARNA EROZYJNEGO

Justyna Sokolska ^{1*}

¹*Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, ul. Łukasiewicza 5, 50-371
Wrocław*

**Adres korespondencyjny: justyna.sokolska@pwr.edu.pl*

Słowa kluczowe: zużycie erozyjne, kąt padania cząstek erozyjnych, wielkość ziarna erozyjnego

W pracy przeprowadzono badania zużywania erozyjnego powłoki polimocznikowej trudnościeralnej w różnych warunkach. Powłoka polimocznikowa o grubości 3 mm oraz twardości 95 ShA naniesiona została na podłoże stalowe – blachę ze stali S235 o grubości 3 mm. Badanie przeprowadzono przy wykorzystaniu autorskiego stanowiska badawczego do badań zużywania erozyjnego. Erozę powłoki przeprowadzono przy użyciu strumienia cząstek ściernych pod ciśnieniem, który padał na powłokę pod kątami 90°, 60° oraz 45°. Jako cząstki erozyjne w badaniach wykorzystano elektrokorund zwykły o pięciu różnych wielkościach ziaren. Zmierzone zużycie liniowe oraz przeprowadzono analizę profilometryczną oraz mikroskopową powierzchni śladu zużycia. Zaobserwowano nieliniowy charakter wpływu kąta padania cząstek erozyjnych na zużycie erozyjne powłoki polimocznikowej. Określono także wpływ wielkości ziarna na zużycie erozyjne powłoki. Opisano mechanizm zużywania erozyjnego tej powłoki.

**ANALIZA WPŁYWU CECH GEOMETRYCZNYCH WENTYLOWANEJ TARCZY
HAMULCOWEJ NA INTENSYWNOŚĆ PROCESÓW CIEPLNYCH PODCZAS
HAMOWANIA**

Piotr Sokolski^{1*}

*¹Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, ul. Łukasiewicza 5, 50-371
Wrocław*

**Adres korespondencyjny: piotr.sokolski@pwr.edu.pl*

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, hamulce, metoda elementów skończonych, temperatura

Przebieg procesów cieplnych odgrywa kluczową rolę w toku eksploatacji układów hamulcowych. Niejednokrotnie utrata właściwości użytkowych hamulców wynika ze zbyt intensywnego przebiegu procesów cieplnych, do którego może dochodzić w ekstremalnych warunkach roboczych. Obniżenie rozwijanej siły tarcia systemów hamowania zmniejsza niezawodność, a przede wszystkim bezpieczeństwo tych zespołów. Przebieg procesów cieplnych w systemach hamulcowych zależy od szeregu czynników, takich jak m. in. zastosowane materiały oraz kształt elementów tych układów. Z tego względu w niniejszej pracy analizie poddano zależność pomiędzy kształtem tarcz hamulcowych oraz temperaturą, jaka jest w tych elementach generowana podczas procesu hamowania. Podstawowymi czynnikami, których wpływ na nagrzewanie tarcz hamulcowych oceniano, były kształt, rozmieszczenie oraz wielkość otworów wentylujących. Na podstawie przeprowadzonych symulacji wskazano najkorzystniejsze konfiguracje wymienionych czynników w kontekście bezpieczeństwa cieplnego układów hamulcowych.

SZTUCZNA INTELIGENCJA W TRIBOLOGII – SYSTEMATYCZNY PRZEGLĄD LITERATURY

Dorota Stadnicka^{1*}

¹*Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa,
Al. Powstańców Warszawy 12*

**Adres korespondencyjny: e-mail: dorota.stadnicka@prz.edu.pl*

Słowa kluczowe: sztuczna inteligencja, tribologia, uczenie maszynowe, sieci neuronowe, zużycie materiałów

W pracy przedstawiono wyniki systematycznego przeglądu literatury dotyczącej zastosowania sztucznej inteligencji (SI) w tribologii. Głównym celem badania było zidentyfikowanie metod SI stosowanych w różnych kontekstach tribologicznych oraz określenie, w jakim celu konkretne metody były wykorzystywane. Przeanalizowano również praktyczne zastosowania metod SI, aby ocenić ich realne wdrożenia i wpływ na efektywność operacyjną. Metodologia badania obejmowała przeszukiwanie baz danych SCOPUS oraz Web of Science. Wybrane artykuły były analizowane pod kątem zastosowanych metod SI, ich celów oraz rezultatów. Kryteria włączenia obejmowały publikacje recenzowane, opublikowane w języku angielskim, dotyczące bezpośrednio zastosowań SI w tribologii. Wyniki przeglądu literatury wykazały, że wśród najczęściej stosowanych metod SI w tribologii znajdują się uczenie maszynowe (machine learning) oraz sztuczne sieci neuronowe (artificial neural networks). Metody te były wykorzystywane między innymi do przewidywania właściwości tribologicznych kompozytów i optymalizacji procesów smarowania. Ponadto, zidentyfikowano praktyczne tribologiczne uwarunkowania zastosowania SI w różnych sektorach przemysłu, w tym w energetyce wiatrowej, przemyśle motoryzacyjnym oraz medycynie. Przykłady obejmują monitorowanie stanu technicznego turbin wiatrowych oraz optymalizację procesów smarowania. Wnioski wskazują na rosnące znaczenie SI w tribologii, zarówno w kontekście badań naukowych, jak i praktycznych zastosowań przemysłowych. Mimo to, istnieje potrzeba dalszych badań, szczególnie w zakresie wdrażania SI w realnych warunkach przemysłowych.

OCENA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNYCH NANOMATERIAŁÓW W CIECZACH CHŁODZĄCO-SMARUJĄCYCH DO OBRÓBK METALI

**Wiktor Stanek^{1,2*}, Tadeusz Hładki², Joanna Kowalczyk³, Monika Madej³,
Michał Cichomski¹**

¹ *Uniwersytet Łódzki, Wydział Chemii, Katedra Technologii i Chemii Materiałów,
ul. Pomorska 163, 90-236 Łódź*

² *FUCHS OIL CORPORATION (PL) Sp. z o.o., ul. Kujawska 102, 44-101 Gliwice*

³ *Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn,
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce*

**Adres korespondencyjny: e-mail: wiktor.stanek@edu.uni.lodz.pl*

Słowa kluczowe: nanomateriały, środki smarne, tribologia, tarcie, zużycie.

Stosowane środki chłodząco-smarujące do obróbki skrawaniem znacząco wpływają na charakterystykę zużycia powierzchni elementów ciernych. Jednak obecny rozwój nanotechnologii umożliwia opracowanie i zastosowanie nowych płynów do obróbki metali. Z tego też względu w celu poprawy wydajności tribologicznej płynów wzbogacono konwencjonalny olej o nanocząstki.

W niniejszej pracy dokonano oceny właściwości tribologicznych nanomateriałów (Ag, Bi₂O₃, Bi₂S₃, CuO, TiO₂ oraz WS₂). Nanomateriały zidentyfikowano wykorzystując techniki dyfraktometrii rentgenowskiej (XRD) i spektroskopowej (FT-IR), a także scharakteryzowano pod względem ich struktury za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM). Przeprowadzono porównawcze testy tribologiczne na aparacie typu T-11 pracującym w skojarzeniu trącem kula-tarcza w warunkach smarowania bez, a także z udziałem nanomateriałów w oleju mineralnym SN 70. Do badań użyto tarcz wykonanych ze stali C45 a jako przeciw próbek użyto kul ze stali 100Cr6. Mikroskop konfokalny z trybem interferometrycznym posłużył do analizy struktury geometrycznej powierzchni przed i po testach tarciovych. Za pomocą mikroskopu (SEM) wykonano obserwacje powierzchni, a także analizę widm (EDS), która umożliwiła identyfikację składu chemicznego na przekrojach poprzecznych powierzchni śladów wytarcia.

Analiza wyników badań wskazała, że użyte nanomateriały korzystnie wpływają na poprawę właściwości tribologicznych zastosowanego oleju SN 70, polepszając jego zdolności przeciwzużyciowe. Ponadto dodatek w postaci nanocząstek Bi₂S₃ spowodował znaczące zmniejszenie współczynnika tarcia w badanych węzłach tarcia.

Praca zrealizowana w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki pn. "Doktorat wdrożeniowy" na podstawie umowy nr DWD/5/0323/2021.

CHARAKTERYSTYKA CIECZY MAGNETOREOLOGICZNYCH WYTWORZONYCH NA BAZIE WYBRANYCH PROSZKÓW ŻELAZA KARBONYLKOWEGO

Barbara Stępień^{1*}, Wojciech Horak¹

¹AGH University of Krakow, Faculty of Mechanical Engineering and Robotics,
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

*Adres korespondencyjny: e-mail: bstepie@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: ciecze magnetoreologiczne, reologia, karbonylek żelaza

Proszki żelaza karbonylkowego (CIP, ang. Carbonyl Iron Particles) cechują się wysoką czystością, jednolitością kształtu i rozmiaru cząstek, wysoką magnetyzacją nasycenia (sięgającą 200 emu/g) oraz odpornością na utlenianie. Dzięki tym właściwościom, a także dobrej stabilności i dostępności, są szczególnie przydatne do wytwarzania cieczy o sterowanych właściwościach reologicznych. Jednym z rodzajów tego typu substancji są ciecze magnetoreologiczne (MR) stanowiące niejednorodną mieszaninę cząstek z materiału o właściwościach ferromagnetycznych w niemagnetycznej cieczy nośnej. Oddziaływanie polem magnetycznym na ciecze MR pozwala na uzyskanie niemal natychmiastowej i w pełni odwracalnej zmiany konsystencji tego typu cieczy, w zakresie od stanu rzadkopłynnego do całkowitego zestalenia w strukturę o wytrzymałości na ścinanie rzędu kilkuset kPa. Szeroki zakres sterowalności właściwościami oraz łatwość zadawania i kontroli parametrów pola magnetycznego, skutkują szeroką gamą zastosowań cieczy MR w urządzeniach o sterowanych parametrach pracy, w szczególności amortyzatorach, hamulcach i sprzęgłach.

W pracy przedstawiono wyniki badań cieczy MR wytworzonych na bazie proszków żelaza karbonylkowego oferowanych przez koncern BASF. Określono wpływ właściwości fizycznych wybranych rodzajów proszków CIP tj. wielkości cząstek i ich właściwości magnetycznych na efekt magnetoreologiczny. Celem pracy było wykonanie analizy porównawczej charakterystyk opracowanych cieczy MR oraz przeprowadzenie oceny ich przydatności do zastosowań technicznych.

ZUŻYCIE POWIERZCHNIOWE MODYFIKOWANYCH ŻELKOTÓW STOSOWANYCH W PRZEMYSŁE JACHTOWYM

Milena Supernak ^{1*}, Katarzyna Zasińska ¹, Artur Karczewski¹

¹Politechnika Gdańska/ Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa,
Gdańsk, ul. G. Narutowicza 11/12

*Adres korespondencyjny: e-mail: milsuper@pg.edu.pl

Słowa kluczowe: żelkoty, nanocząstki haliozytu, zużycie powierzchniowe, grafen płatkowy ,
zużycie tribologiczne

Żelkoty to kompozyty z matrycą polimerową (PMC) na bazie żywic epoksydowych, winyloestru i nienasyconego poliestru, powszechnie stosowane jako powłoki kadłubów łodzi, podeszew kokpitów, łodzi patrolowych, zamiatarek min i kopuł łodzi podwodnych. Zastosowania te wymagają stabilności strukturalnej i wysokiej wydajności kompozytów w wodzie morskiej. Żelkot jest elementem bezpośrednio graniczącym ze środowiskiem zewnętrznym, jego trwałość będzie zależała od właściwości powierzchni, które mogą mieć wpływ na ogólną wytrzymałość poszycia. Badania wykonano na trzech rodzajach żelkotów – niemodyfikowanym, z dodatkiem nanocząstek haliozytu i z nanocząstek haloizytu i płatków grafenu. W celu określenia właściwości ich powierzchni przeprowadzono obserwację mikroskopową na mikroskopie skaningowym SEM (JEOL JSM-7800 F, Japonia). Chropowatość powierzchni określono na profilometrze Hommel Etamic T8000, kąt zwilżania zbadano na goniometrze KSV. Badania zużycia tribologicznego przeprowadzono na tribometrze PT-33 w określonych warunkach eksploatacyjnych. Po przeprowadzonych badaniach tribologicznych ocenie poddano zmianę parametrów tribologicznych tj. współczynnik tarcia, czy zużycie ściernie na powierzchniach badanych materiałów. Uzyskane wyniki nie wykazują znaczących zmian w właściwościach powierzchniowych modyfikowanych żelkotów oraz w charakterystyce ich zużycia trybologicznego. Wprowadzone dodatki uszlachetniające w postaci nanocząstek haloizytu oraz grafenu płatkowego nie wpłynęły znacząco na zmianę charakteru zniszczeń badanych materiałów.

BADANIA USZCZELNIEŃ Z CIECZĄ MAGNETYCZNĄ Z WYKORZYSTANIEM CIECZY WYTWORZONYCH W TECHNOLOGII MIELENIA

Marcin Szczęch^{1*}, Wojciech Horak¹

¹AGH University of Krakow, Faculty of Mechanical Engineering and Robotics,
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

*Adres korespondencyjny: e-mail: szczech@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: ciecz magnetyczna, ciecz magnetoreologiczna, ferrociecz, uszczelnienia,
szczelność, mikro mielenie

Uszczelnienia z cieczą magnetyczną to układy bezstykowe działające na zasadzie tworzenia w zadanym położeniu płynnego pierścienia uszczelniającego. Znalazły zastosowanie przede wszystkim w aplikacjach wymagających wysokiej szczelności i czystości, również w warunkach próżni tj. w produkcji półprzewodników, ogniw słonecznych oraz nakładania powłok ochronnych. Innym ich zastosowaniem są przepusty szybkoobrotowych wałów. Zasadniczym komponentem uszczelnień tego typu jest ciecz magnetyczna, czyli koloidalna mieszanina ferromagnetycznych nanocząstek o średniej średnicy rzędu 10 nm, zawieszonych w niemagnetycznej cieczy nośnej. Ferrociece zachowują bardzo dobrą stabilność sedymentacyjną zarówno polu grawitacyjnym jak i silnym polu magnetycznym. Innym typem cieczy magnetycznych, są ciecze magnetoreologiczne, w skład których wchodzi cząstki o znaczne większych rozmiarach (rzędu 0.1–10 μm). Tego typu ciecze, ze względu na małą stabilność oraz wysokie opory ruchu, nie są powszechnie stosowane w uszczelnieniach. Jednak w związku z wysoką wartością magnetyzacji, ich aplikacja w uszczelnieniach jest obiecującym kierunkiem badawczym. W pracy przedstawiono wyniki badań uszczelnień w których zastosowano nowy typ cieczy magnetycznych zawierających cząstki o pośrednim w stosunku do wspomnianych cieczy rozmiarach, tj. 100–500 nm. Ciecze wytworzono w warunkach laboratoryjnych AGH w wyniku rozdrabniania żelaza karbonylowego z wykorzystaniem mikromłynka planetarnego. Wykazano wymierne korzyści z zastosowania opracowanych cieczy magnetycznych, zarówno pod kątem stabilności jak i parametrów użytkowych badanych uszczelnień.

ZASTOSOWANIE PRÓBY ZGINANIA Z ROZCIĄGANIEM DO OKREŚLENIA ZACHOWANIA TRIBOLOGICZNEGO BLACH STALOWYCH DC01

**Marek Szewczyk ^{1*}, Krzysztof Sz wajka ¹, Tomasz Trzepieciński ²,
Joanna Zielińska-Sz wajka ³, Marek Barlak ⁴**

¹ Zakład Zintegrowanych Systemów Projektowania i Tribologii, Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Politechnika Rzeszowska, ul. Kwiatkowskiego 4, 37-450 Stalowa Wola

² Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów

³ Zakład Wytwarzania Komponentów i Organizacji Produkcji, Wydział Mechaniczno-Technologiczny, Politechnika Rzeszowska, ul. Kwiatkowskiego 4, 37-450 Stalowa Wola

⁴ Zakład Technologii Plazmowych i Jonowych, Narodowe Centrum Badań Jądrowych Świerk, ul. Sołtana 7, 05-400 Otwock

*Adres korespondencyjny: e-mail: m.szewczyk@prz.edu.pl

Słowa kluczowe: współczynnik tarcia, smarowanie, topografia powierzchni, chropowatość powierzchni, formowanie metalu

W artykule przedstawiono wyniki analizy zmian współczynnika tarcia zachodzących na krawędzi stempla w procesach obróbki plastycznej blachy. Badania eksperymentalne przeprowadzono metodą tarcia przy zginaniu i rozciąganiu. Zastosowano opracowany przez autorów tribotester uwzględniający pomiar temperatury w strefie kontaktu. Materiał badawczy stanowiły blachy ze stali niskowęglowej DC01 o grubości 0,8 mm. Badano ewolucję zmian współczynnika tarcia podczas badań tarcia w warunkach tarcia suchego i smarowania powierzchni blachy olejem S100 Plus i S300 (Naftochem). Zastosowano przeciwpróbki wykonane ze stali narzędziowej 145Cr6. Stwierdzono, że wartość współczynnika tarcia wzrasta wraz z odkształceniem blachy. Charakter tej zmiany zależy od warunków tarcia. We wszystkich analizowanych warunkach tarcia zaobserwowano zmniejszenie wartości parametrów Sa, Sq, Sz i Ssk w stosunku do blachy w stanie dostawy.

BADANIE WPŁYWU SZYBKOŚCI ŚCINANIA NA ZACHOWANIE REOLOGICZNE CIECZY MAGNETYCZNYCH

Yuliia Tarasevych ^{1*}, Marcin Szczęch ¹,

¹*Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział
Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków*

**Adres korespondencyjny: e-mail: jtaras@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: ciecz magnetyczna, ferrociecz, lepkość, reologia, efekt magnetolepkości

Ferrociece to ciecze zawierające polidispersyjne nanocząstki magnetyczne stabilizowane surfaktantami, które z cieczą nośną tworzą układ koloidalny. Znajdują one zastosowanie w różnych dziedzinach, takich jak czujniki, głośniki, uszczelnienia, tłumiki, środki smarujące oraz w medycynie. Ich właściwości reologiczne w dużej mierze wpływają na możliwości aplikacyjne. Właściwości te zależą od cech cieczy nośnej, materiału oraz rozkładu cząstek, ich wielkości, wartości pola magnetycznego, jak również od warunków pracy.

Celem pracy jest analiza zmiany lepkości dynamicznej w zakresie natężenia pola od 0 do 400 kA/m oraz szybkości ścinania od 25 do 500 s⁻¹, co jest istotne przy projektowaniu różnych zastosowań ferrocieczy. Do badań wybrano pięć ferrocieczy o różnych wartościach magnetyzacji nasycenia i lepkości dynamicznej. Wybrano ciecze o różnym rozkładzie cząstek, a ich wielkość zmierzono metodą DLS (Dynamic Light Scattering). Analizę otrzymanych wyników przeprowadzono na podstawie znanych modeli teoretycznych, uwzględniając zmianę parametru magnetolepkości oraz liczby Masona, która pozwala na ocenę niszczenia aglomeratów nanocząstek. Stwierdzono, że ilościową zmianę wartości lepkości ferrocieczy w zewnętrznym polu magnetycznym można określić na podstawie kąta nachylenia krzywej opisującej zmianę lepkości w obszarze słabych pól magnetycznych 0-150 kA/m.

WPLYW STRUKTURY POWIERZCHNI NA INTENSYWNOŚĆ GENERACJI CZĄSTEK ZUŻYCIA W STYKU STAL-POLIMER

Wojciech Tarasiuk ^{1*}, Bazyli Krupicz ², Jerzy Napiórkowski ³

¹ Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, ul. Wiejska 45C, 15-351 Białystok

² Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania, ul. Ojca Tarasiuka 2, 16-001 Kleosin

² Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Technicznych, ul. Oczapowskiego 2,
10-719 Olsztyn

*Adres korespondencyjny: e-mail: w.tarasiuk@pb.edu.pl

Słowa kluczowe: pin-on-disk, cząstki zużycia, tarcie, struktura, powierzchnia

W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych dotyczących wpływu struktury powierzchni na intensywność generacji cząstek zużycia w kontakcie stal-polimer. Badaniu poddano materiał o handlowej nazwie iglidur X. Jest to termoplastyczne tworzywo sztuczne, stosowane przy budowie bezobsługowych elementów ślizgowych i łożysk. Przeciw-próbkę stanowiły dyski stalowe wykonane ze stali 42CrMo4, a ich powierzchnia różniła się strukturą (dyski wykonano metodą: toczenia, frezowania i szlifowania). Badanie przeprowadzono na stanowisku typu pin-on-disk (T-11) wyposażonym w komorę umożliwiającą odseparowanie badanej pary ciernej od zewnętrznych czynników, do której dostarczane było oczyszczone powietrze. Na wylocie z komory umieszczono spektrometry (optyczny i elektronowy), które umożliwiły pomiar cząstek zużycia w zakresie od 0,01 do 10 μm . We wszystkich badaniach zastosowano stałą prędkość poślizgu $v_p=1$ m/s i nacisk jednostkowy $p=0,5$ MPa. Uzyskane wyniki pozwalają na wskazanie struktury powierzchni (zależnej od wybranej metody obróbki), która wpływa na zmniejszenie intensywności generacji cząstek zużycia do atmosfery i mogą stanowić praktyczną wskazówkę przy projektowaniu ślizgowych węzłów tarcia: stal-polimer.

WPLYW PRACY ADHEZJI NA WSPÓŁCZYNNIK TARCIA STATYCZNEGO WYBRANYCH PAR CIERNYCH POLIMER-METAL

Wojciech Wieleba ^{1*}, Piotr Kowalewski ¹, Maciej Paszkowski ¹ⁱ

¹*Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny,
Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław*

**Adres korespondencyjny: e-mail: wojciech.wieleba@pwr.edu.pl*

Słowa kluczowe: tarcie, adhezja, polimery

Adhezja jest jednym z podstawowych zjawisk fizycznych związanych z budową materii, która wpływa na opory tarcia współpracujących ślizgowo materiałów. Celem przeprowadzonych badań było określenie korelacji między współczynnikiem tarcia statycznego a pracą adhezji dla par ciernych polimer-metal. Polimerami wybranymi do badań były elastomery na bazie kauczuków: NBR, EPDM, MVQ i FPM a także tworzywa termoplastyczne: PTFE, POM, PE UHMW oraz PEEK. Badania tribologiczne przeprowadzono na tribotesterze typu pin-on-plate w ruchu posuwisto-zwrotnym. Materiały polimerowe współpracowały ślizgowo ze stalą C45 w warunkach tarcia technicznie suchego, w temperaturze otoczenia $T_0 = 24^\circ\text{C}$, przy ustalonych wartościach nacisku jednostkowego z przedziału 0,1–3,0 MPa. Pracę adhezji określono dwoma metodami: Owensa-Wendta oraz Wu. Do tego celu wykorzystano wyniki badań swobodnej energii powierzchniowej uzyskane za pomocą goniometru DSA-HT12 (Kruss, Niemcy). Wyniki badań współczynnika tarcia statycznego wykazały jego większą korelację z pracą adhezji dla polimerów termoplastycznych w porównaniu z materiałami elastomerowymi.

CHARAKTERYSTYKI TRIBOLOGICZNE ŚRODKÓW SMARNYCH MODYFIKOWANYCH BIO-DODATKAMI USZLACHETNIAJACYMI DO ZASTOSOWANIA W TURBINACH WIATROWYCH

Tomasz Wiśniewski ^{1*}, Volf Leshchynsky ¹, Jolanta Drabik ²,
Elżbieta Rogoś ², Anna Kaczmarczyk ²

¹ Sieć Badawcza Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny,
ul. Ewarysta Estkowskiego 6, 61-755 Poznań

² Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Technologii Eksploatacji,
ul. K. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom

*Adres korespondencyjny: tomasz.wisniewski@pit.lukasiewicz.gov.pl,
Sieć Badawcza Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny,
Centrum Zrównoważonej Gospodarki, ul. Jana Pawła II 14, 61-139 Poznań, Polska;

Słowa kluczowe: turbiny wiatrowe, modyfikowane oleje przemysłowe, badania tribologiczne, współczynnik tarcia, zużycie masowe,

W artykule przedstawiono wyniki badań opracowanych kompozycji olejowych, w tym charakterystyki temperaturowo-lepkosciowe oraz właściwości smarne. Zdefiniowano parametry testów tribologicznych (T-05), które różniły się warunkami pracy: prędkością obrotową i obciążeniem. W przeprowadzonych badaniach tarciovo-zużyciowych zastosowano próbki: bloki wykonane ze stali X153CrMoV12 o twardości 60 ± 1 HRC, których powierzchnie trące charakteryzowały się parametrem chropowatości R_a w zakresie od 0,09 do 0,17 μm oraz pierścienie wykonane ze stali 100CR6 o twardości 58 ± 1 HRC, których powierzchnie trące charakteryzowały się parametrem chropowatości R_a w zakresie od 0,39 do 0,62 μm . Testy wykonano przy stałej prędkości obrotowej pierścienia (30 obr/min) i docisku bloku zmienną siłą w zakresie od 100 do 1100 N oraz przy smarowaniu ciągłym. Na podstawie zarejestrowanych wartości siły tarcia i siły docisku wyznaczono współczynnik tarcia. Po testach wykonano pomiar parametru chropowatości R_a próbek oraz przeprowadzono obserwację topografii powierzchni trących. Stwierdzono, że w warunkach testu występowało tarcie graniczne dla wszystkich przebadanych kompozycji olejowych, a współczynnik tarcia kształtował się w przedziale od 0,1 – 0,17. Zaobserwowano zwiększenie parametru chropowatości R_a po testach dla powierzchni trących próbek typu blok.

**PRÓBA WYKORZYSTANIA ANALIZY WYMIAROWEJ DO OCENY
WŁAŚCIWOŚCI DUŻEGO ŁOŻYSKA HYDRODYNAMICZNEGO NA
PODSTAWIE DOŚWIADCZALNYCH BADAŃ MAŁEGO ŁOŻYSKA
BADAWCZEGO**

Michał Wodtke ¹, Michał Wasilczuk ^{1*}

¹*Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa
ul Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk*

**Adres korespondencyjny: e-mail: mwasilcz@pg.edu.pl*

Słowa klucz: duże hydrodynamiczne łożyska wzdłużne, analiza wymiarowa, badania doświadczalne

Duże hydrodynamiczne łożyska wzdłużne stosowane w hydrozespołach o pionowych wałach elektrowni wodnych mogą osiągać średnice przekraczające niekiedy 5 metrów, co utrudnia lub wręcz uniemożliwia ich badania eksperymentalne w pełnej skali. Dlatego w przypadku potrzeby testowania nowych konstrukcji możliwe jest to jedynie z wykorzystaniem mniejszych łożysk badawczych. Jednakże, ze względu na złożoność zjawisk w dużych łożyskach hydrodynamicznych z wahlowymi klockami, gdzie istotny jest wpływ tak zjawisk mechanicznych, przepływowych, jak i termicznych dobór parametrów badań modelowych, które byłyby zgodne z teorią podobieństwa nie jest łatwy. W artykule przedstawiona będzie próba wykorzystania analizy wymiarowej w celu określenia parametrów badań małego łożyska badawczego w sposób zgodny z teorią podobieństwa, tak aby odzwierciedlić wszystkie istotne zjawiska zachodzące w łożysku pełnowymiarowym. Rezultatem jest zestaw współczynników skalujących, które zapewniają doskonałą zgodność pomiędzy modelem a rzeczywistym łożyskiem. Dalsza analiza współczynników skalowania poszczególnych parametrów pokazuje jednak, że przeprowadzenie doświadczeń z rygorystycznym zastosowaniem teorii podobieństwa jest niemożliwe, i jednocześnie, że jakiegokolwiek odstępstwa od stosowania teorii podobieństwa skutkują brakiem zgodności między właściwościami łożyska skalowanego i oryginalnego.

WPLYW WARSTWY DLC NA POWIERZCHNIE ZAWIERAJĄCE KIESZENIE SMAROWE W SKOJARZENIU TARCIOWYM PRACUJĄCYM W RUCHU POSUWISTOZWROTNYM.

Sławomir Woś^{1*}, Andrzej Dzierwa¹, Waldemar Koszela¹, Paweł Pawlus¹

¹ Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa,
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów

*Adres korespondencyjny: wosslawomir@prz.edu.pl

Słowa kluczowe: współczynnik tarcia, kieszenie smarowe, warstwa DLC, hybrydowe modyfikacje powierzchni

Kieszenie smarowe są jedną z dodatkowych metod stosowanych w przypadku, gdy pożądane jest zmniejszenie oporów ruchu w skojarzeniach tarciowych. Efektem ich obecności na powierzchni trącej jest zmniejszenie wpływu produktów zużycia przez ich wyłapywanie oraz efekt unoszenia hydrodynamicznego, który zmniejsza siłę tarcia w węźle ciernym. Wadą stosowania tego rozwiązania jest konieczność zastosowania dodatkowych operacji w procesie produkcyjnym, co powoduje zwiększenie kosztów. Ponadto na skutek zużywania się powierzchni teksturowanej pozytywne efekty mikrokieszeni smarowych zanikają w miarę postępowania procesu zużycia. W celu podniesienia odporności kosztownej powierzchni, na której wykonane są kieszenie smarowe, na zużycie zastosowano hybrydowe podejście polegające na pokryciu warstwą DLC o grubości 2-3 μm powierzchni z ukształtowanymi już obróbką laserową mikrokieszeniami. Efektem było widoczne zmniejszenie zużywania się powierzchni pokrytej DLC przy zachowaniu zalet powierzchni teksturowanej. Próby przeprowadzane były w styku rozłożonym i ruchu posuwisto-zwrotnym którego skok wynosił 3 mm a częstotliwość 20 Hz. Próba była przeprowadzana w warunkach wysokiego obciążenia normalnego wynoszącego 1000 N i w temperaturze startowej 30°C która nie była regulowana podczas testu. Próby miały długość 2 h choć próbki referencyjne ulegały zniszczeniu najczęściej w ciągu 30 do 45 minut. Badania przeprowadzono na testerze tribologicznym firmy OPTIMOL SRV5.

XLII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna 2024
10-13 września 2024 Jesionka



BADANIA REOLOGICZNE KOMPOZYCJI SMAROWYCH PRZYSTOSOWANYCH DO PRACY W CENTRALNYCH UKŁADACH SMAROWANIA PRACUJĄCYCH W CIĘŻKICH WARUNKACH ŚRODOWISKOWYCH

Grzegorz Wszelaczyński

Advanced Automatic Lubrication Systems Spółka Akcyjna

Słowa kluczowe: tribologia, kompozycje smarowe, smary, centralne smarowanie, reologia

Celem pracy jest opracowanie uniwersalnego współczynnika (oznaczonego jako WGL), którego zadaniem jest ułatwienie dobierania smarów do układów centralnego smarowania. Współczynnik WGL ma pozwolić szybko dobrać środek smarny przy jednoczesnym uwzględnieniu oporów przepływu laminarnego smaru, jego stabilności konsystencji i odporności na zmiany oporu przepływu. Smary o takich samych konsystencjach tzn. NLGI 2 poddano badaniom reologicznym na reometrach (określenie oporów ścinania i energii kohezji) oraz przeprowadzenie badań porównawczych na stanowisku badawczym opracowanym przez autorów referatu. Po opracowaniu wyników badań porównawczych, dla potwierdzenia wyników, smary wprowadzono do centralnych układów smarowania maszyn górniczych pracujących w ciężkich i agresywnych warunkach otoczenia. Opracowanie współczynnika WGL dla smarów przeznaczonych do zastosowań w centralnych układach smarowania ma na celu zmniejszenie awarii tych układów, a tym samym poprawienie niezawodności pracy węzłów tarcia w maszynach.

XLII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna 2024
10-13 września 2024 Jesionka



BADANIA SIŁOWNIKA HYDRAULICZNEGO PODESTU RUCHOMEGO TYP P-L83

Tadeusz Zaborowski^{1*}

¹*Instytut Badań i Ekspertyz Naukowych, ul. Górczyńska 21, 66-400 Gorzów Wlkp.*

**Adres korespondencyjny: e-mail: tazab@sukurs2.pl*

Słowa kluczowe: siłownik hydrauliczny, zużycie, podest ruchomy

Podest ruchomy typu P-183 został wyprodukowany w roku 1984 i zarejestrowany w UDT 3704000083. Był sprawny co wynika z dokumentacji UDT. Kupił ten podest inny użytkownik i nie zgłosił tego urządzenia do UDT. Podczas eksploatacji siłownik hydrauliczny uległ awarii. Przeprowadzone badania siłownika hydraulicznego wykazały ścięcie gwintu łączącego siłownik.

Przedstawiono wyniki badań cylindra i nakrętki wykorzystując procedury i instrukcje zawarte w normach. Ponadto badano warunki środowiskowe, przeprowadzono badania metalograficzne i oceniono poprawność zastosowanych materiałów, oznaczono skład chemiczny materiałów, zbadano twardość materiałów wykorzystując do tego celu stosowną aparaturę pomiarowo-badawczą. Przedstawiono wnioski.

BADANIA TRIBOLOGICZNE I TOPOGRAFIA POWIERZCHNI ELEMENTÓW PARY TRĄCEJ DRUKOWANY STOP TYTANU Ti-13Nb-13Zr / PE-UHMW

Katarzyna Zasińska^{1*}, Janusz Musiał², Michał Wasileczuk¹

¹*Politechnika Gdańska / Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa,
Gdańsk, ul. G. Narutowicza 11/12*

²*Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy / Wydział Mechatroniki,
Bydgoszcz, ul. Kopernika 1*

*Adres korespondencyjny: e-mail: katzasin@pg.edu.pl

Słowa klucz: druk 3D, biomateriały, biotribologia, zużycie tribologiczne, stop tytanu Ti-13Nb-13Zr

W ciągu ostatnich lat technologia druku 3D z materiałów polimerowych, metali i ich stopów oraz ceramiki zrewolucjonizowała dotychczasowe prototypowanie i produkcję w różnych gałęziach przemysłu i medycynie, poprzez możliwość bardzo szybkiego wytworzenia skomplikowanych geometrii, które wcześniej były uznawane za niemożliwe do wytworzenia za pomocą tradycyjnych technologii, zachowując powtarzalność procesu wytwórczego i jego ekonomikę. Technologia druku 3D umożliwia produkcję jednostkową i małoseryjną detali z bardzo dużą dokładnością. Selektywne przetapianie wiązką lasera (SLM) tytanu i jego stopów cieszy się dużym zainteresowaniem w zastosowaniach biomedycznych, w przemyśle lotniczym, morskim i chemicznym ze względu na unikalne właściwości fizyczne, mechaniczne, chemiczne i biologiczne. Wraz z postępem technologicznym oraz rozwojem materiałów, stop tytanu Ti-13Nb-13Zr zaczyna odgrywać kluczową rolę w kształtowaniu przyszłości zaawansowanych materiałów i ich zastosowaniu w różnych sektorach przemysłu. W artykule przedstawiono wyniki badań tribologicznych pary trącej drukowany stop Ti-13Nb-13Zr / PE-UHMW. Parę trącą złożoną z biomateriałów metalicznych i polimerowych poddano testom tribologicznym na tribometrze PT – 3 w określonych warunkach eksploatacyjnych. Ponadto wykonano badania struktury geometrycznej powierzchni badanych biomateriałów oraz ich obserwacje z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego (LM). Otrzymane wyniki pozwoliły ocenić wpływ zastosowanej technologii wytwarzania (druku 3D) próbek metalowych na ich zużycie tribologiczne w porównaniu do próbek metalowych otrzymanych w postaci litego pręta.

**BADANIE KORELACJI PARAMETRÓW MIKROSTRUKTURY I WŁAŚCIWOŚCI
TRIBOLOGICZNYCH WARSTWY WIERZCHNIEJ PA6 MoS₂
TEKSTURYZOWANEJ KRÓTKO-IMPULSOWYM PROMIENIOWANIEM
LASEROWYM**

Paweł Zawadzki ^{1*}, Adam Patalas ¹, Rafał Talar ¹

¹*Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Plac M.*

**Adres korespondencyjny: Piotrowo 3, 61-138 Poznań, e-mail:*

pawel.zawadzki@put.poznan.pl

Słowa kluczowe: obróbka laserowa, chropowatość powierzchni, PA6 MoS₂, teksturyzacja powierzchni, pin-on-flat

Celem pracy było wykazanie, że istnieje korelacja pomiędzy właściwościami tribologicznymi, a parametrami chropowatości powierzchni teksturyzowanej krótko-impulsowym promieniowaniem laserowym. Badania stanowią wprowadzenie do przygotowania modelu umożliwiającego sterowanie cechami tribologicznymi powierzchni za pomocą parametrów chropowatości w ujęciu teksturyzacji laserowej. W ramach eksperymentu na powierzchni PA6 MoS₂, przy użyciu lasera PLH3D-XT-50, o długości fali $\lambda = 450$ nm, utworzono periodyczne mikrostruktury. Powierzchnię poddano analizie profilometrycznej za pomocą profilometru optycznego Alicona. Scharakteryzowano parametry topografii powierzchni, które następnie skorelowano z rezultatami pomiarów tribologicznych. Badania tribologiczne przeprowadzono z użyciem tribotestera Bruker UMT2. Testy wykonano metodą ball-on-flat, stosując jako przeciw próbkę stalową kulę łożyskową. Badania wykonywano w stałej temperaturze 20°C, w warunkach suchych i w obecności oleju silikonowego. Zaobserwowano, że parametry Sa, Sq, Sdr, SSk oraz Vmc i Vvc, wykazują korelację ze zmianami wartości współczynnika tarcia i poziomem zużycia materiału, parametry takie jak Sp, Sv i Sz, korelację częściową zależną od rozmiaru mikrostruktury, zaś Sku, Svk i Vvv korelację odwrotną. Obserwacje te odnotowano w obu środowiskach testów. Wyniki eksperymentów potwierdziły, że odpowiednio dobrane parametry chropowatości powierzchni umożliwiają sterowanie właściwościami tribologicznymi warstwy wierzchniej i mogą znacząco poprawić właściwości użytkowe PA6 MoS₂. Na podstawie rezultatów badań opracowano model opisowy zależności pomiędzy parametrami tribologicznymi, a cechami warstwy wierzchniej.

WPLYW TEKSTURYZACJI KRÓTKO IMPULSOWYM PROMIENIOWANIEM LASEROWYM NA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE POWIERZCHNI STALI NIERDZEWNEJ AISI 321

Paweł Zawadzki ^{1*}, Rafał Talar ¹, Sergey Dobrotvorskiy ²

¹ *Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Plac M. Skłodowskiej-Curie 5, 60-965 Poznań*

² *Narodowy Uniwersytet Techniczny „Charkowski Instytut Politechniczny”, ul. Kyrpychowa 2, 61002, Charków, Ukraina*

³ *Poznan University of Life Sciences, PL-60637 Poznan, Wojska Polskiego 38/42*

**Adres korespondencyjny: Piotrowo 3, 61-138 Poznań, e-mail: pawel.zawadzki@put.poznan.pl*

Słowa kluczowe: laser nanosekundowy, stal nierdzewna, AISI 321, teksturyzacja powierzchni, pin-on-flat

W ostatnich latach obserwujemy znaczący wzrost zainteresowania wykorzystaniem laserów krótko-impulsowych do modyfikacji powierzchni materiałów, a jednym z zadań tego zabiegu jest zmiana właściwości tribologicznych powierzchni. Celem niniejszej pracy było zbadanie wpływu parametrów impulsu laserowego oraz strategii obróbki i wynikających z nich zmian chropowatości i twardości powierzchni stali nierdzewnej AISI 321 na charakter zjawiska tarcia i zużycia materiałów pary ciernej. Teksturyzację powierzchni stali wykonano laserem nanosekundowym Minimarker-2 o długości fali $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$ i długości trwania impulsu $\tau = 100 \text{ ns}$. Przygotowano cztery tekstury powierzchni napromieniowane następującymi poziomami mocy lasera: 15, 20, 25 i 30%. Badania tribologiczne przeprowadzono z użyciem tribotestera Bruker UMT2. Testy wykonano metodą pin-on-plate, stosując jako przeciw próbkę stalową kulkę łożyskową. Badania wykonywano w stałej temperaturze 20°C i trzech warunkach środowiskowych: na sucho, w wodzie destylowanej i w oleju silikonowym. Stwierdzono, że laserowa teksturyzacja powierzchni umożliwia zmianę cech tribologicznych warstwy wierzchniej stali AISI 321, wpływając na poziom zużycia i charakter procesów ciernych jednocześnie wskazując na istotny czynnik periodyczności struktur powierzchniowych. Zwiększenie poziomu napromieniowania poskutkowało zmniejszeniem wartości współczynnika tarcia w początkowych etapach eksploatacji pary ciernej. Ponadto zaobserwowano, że poprzez sterowanie teksturyzacją można zwiększyć poziom smarowania układu ciernej, aczkolwiek typ środowiska pracy niejednoznacznie wpływa na całościowy charakter procesów tribologicznych.

**WPLYW SPOSOBU CHŁODZENIA PO AUSTENITYZOWANIU
NA ODPORNOSĆ NA ZUŻYWANIE ŚCIERNE STALI HARDOX 500**

Martyna Zemlik^{1*}, Kacper Leśny¹, Marcin Wiśniewski¹, Łukasz Konat¹

*¹Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny,
ul. Smoluchowskiego 25, 50-370 Wrocław*

**Adres korespondencyjny: e-mail: martyna.zemlik@pwr.edu.pl*

Słowa kluczowe: stal martenzytyczna, obróbka cieplna, zużywanie ściernie

Ilość powstałych naprężeń hartowniczych jest zdeterminowana rodzajem wykorzystanego ośrodka chłodzącego przy hartowaniu. Różnica szybkości chłodzenia pomiędzy rdzeniem a powierzchnią przedmiotu wpływa na zakres powstałych odkształceń, szczególnie w odniesieniu do przedmiotów wielkogabarytowych o skomplikowanym kształcie. Ze względu na wysoką twardość, stale z dodatkiem boru są często wykorzystywane na elementy narażone na zużywanie ściernie, a ich obróbkę cieplną przeprowadza się na wyprofilowanych fragmentach konstrukcji, takich jak lemiesz pługów czy redliczki kultywatora. Krytyczna prędkość chłodzenia jest zależna od składu chemicznego materiału i jest ona tym większa, im hartowność (definiowana najczęściej przez zawartość procentową węgla) jest mniejsza. W związku z powyższym, koniecznym jest prowadzenie badań dotyczących analizy możliwości obróbki cieplnej stali średniowęglowych, do których należy szeroko stosowana stal martenzytyczna Hardox 500. W pracy przedstawiono wyniki badań zużywania ściernego ww. stali, która została poddana różnym wariantom obróbki cieplnej, uwzględniające zróżnicowane szybkości chłodzenia po austenitowaniu. W tym celu, jako ośrodki chłodzące wykorzystano: odtlenioną wodę hartowniczą, mineralny olej transformatorowy, olej syntetyczny, a także zastosowano nadmuch sprężonego powietrza. W celach porównawczych analizie poddano także próbki po chłodzeniu równowagowym z piecem.

WŁAŚCIWOŚCI PRZECIWZUŻYCIOWE POWŁOK KOMPOZYTOWYCH NA OSNOWIE POLIETEROETEROKETONU

Sławomir Zimowski ^{1*}, Jolanta Krupa ¹, Tomasz Moskalewicz ²,
Aleksandra Fiołek ²

¹AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej
i Robotyki, 30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30

²AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej,
30-054 Kraków, ul. Czarnowiejska 66

*Adres korespondencyjny: e-mail: zimowski@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: powłoka polimerowa, PEEK, elektroforeza, tarcie, odporność na zużycie

Powłoki przeciwzużyciowe w zastosowaniach tribologicznych wytwarzane są najczęściej jako twarde pokrycia, a ich twardość uważana jest za istotny parametr w zapewnieniu wymaganej trwałości układu powłoka-podłoże. Jak dowodzą badania poprawę odporności na zużycie można uzyskać również przez zastosowanie pokryć ze stosunkowo miękkiego materiału polimerowego, którego dobre właściwości ślizgowe ograniczają zużycie. Polieteroeteroketon (PEEK) jest często stosowany w parach tarciovych ze względu na wysoką wytrzymałość mechaniczną w porównaniu z innymi tworzywami termoplastycznymi, a także dobrą stabilność termiczną i chemiczną oraz dobre właściwości tribologiczne. Jednak odporność na zużycie czystego PEEK w warunkach suchego tarcia ślizgowego jest nadal niewystarczająca w węzłach tarcia o średniej i dużej nośności.

W pracy skoncentrowano się na analizie porównawczej właściwości tribologicznych powłok na osnowie PEEK wzmocnionych cząstkami Al_2O_3 , TiN lub MoS_2 . Powłoki kompozytowe osadzono metodą elektroforezy na podłożu ze stopu tytanu. Badania wykazały, że wprowadzenie twardych nanocząstek zwiększa nośność układu powłoka/podłoże, obniża składową deformacyjną siłę tarcia i przez to współczynnik tarcia z 0,7 dla stopu bazowego do co najmniej 0,3 dla pokrytego kompozytową powłoką PEEK/TiN lub PEEK/ Al_2O_3 . Znacząco zwiększyła się także odporność stopu na zużycie podczas tarcia w styku ślizgowym z kulą Al_2O_3 . Szybkość zużycia powlekanego stopu była wielokrotnie mniejsza w porównaniu do stopu niepokrytego, również tego po utwardzeniu tlenem.