

Zastosowanie MES do określenia naprężeń i odkształceń w wierzchołku tarcia testera T-05

Piotr Duda . Uniwersytet Łódzki, Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach, Zakład Badań Warstwy Wierzchniej, piotr.duda@us.edu.pl

Henryk Bakowski . Politechnika Łódzka, Wydział Transportu, Katedra Eksploatacji Pojazdów Samochodowych, henryk.bakowski@polsl.pl

Grzegorz Służalek - Uniwersytet Łódzki, Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach, Zakład Technologii Warstw Powierzchniowych, grzegorz.sluzalek@us.edu.pl

Streszczenie

Tester tribologiczny T-05 ze skojarzeniem typu rolka-klocek służy do oceny odporności na zużycie różnych par materiałowych. Wyniki ciwo ci tribologiczne, które są badane, nie dotyczą tylko jednego z elementów w zębie, lecz obu jego składowików oraz ustalonych warunków otoczenia. Za pomocą metod pomiarowych nie zawsze można wyznaczyć zjawiska występujące w skojarzeniu. Dlatego uzupełnieniem badań powinna być analiza układu z wykorzystaniem metod numerycznych (MES).

Wstęp

Wyniki ciwo ci tribologiczne, czyli charakterystyki tarcia i zużycia, nie dotyczą tylko jednego z elementów w zębie, lecz obu jego składowików oraz zdefiniowanych warunków otoczenia. Uzyskane charakterystyki nie stanowią tym samym stałych materiałowych ani nawet cech badanego w zębie, ale charakteryzują cały system. Utrata zdolności eksploatacyjnych może być skutkiem zmian w zębie ciwo ci fizyko-chemicznych warstwy wierzchniej wywołanych tarciami. Czynnikami konsekwencji jest ubytek masy i zmiana wymiarów elementów tarcia. W zagadnieniach tribologicznych problemy materiałowe sprowadza się na ogół do analizy warstwy wierzchniej elementów tarcia. Traktując zużycie tribologiczne jako utratę pierwotnych w zębie ciwo ci składowików w zębie tarcia. Analizowane powinno się nie tylko cechy geometryczne ale te inne cechy jak: mechaniczne, w zębie ciwo ci fizyko-chemiczne i dla uzupełnienia powinno się przeprowadzić obliczenia numeryczne.

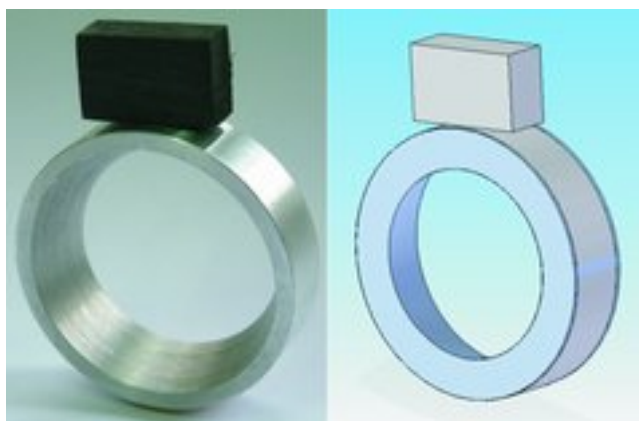
Spośród całej gamy dostępnych urządzeń do badań tarcia i smarowania często stosuje się testery o skojarzeniu rolka-klocek na przykład tester T-05 (Rys. 1) produkcji ITEE . PIB w Radomiu [1, 2]. W artykule przedstawiono przykładowe badania, przeprowadzone na ww. urządzeniu, dla skojarzenia skoncentrowanego i rozłożonego pary materiałowej PEEK/BG . EN-AW 5251. Uzupełnieniem badań tribologicznych była analiza układu z wykorzystaniem metod numerycznych. Dlatego równolegle z badaniami tribologicznymi zostały przeprowadzone symulacje komputerowe do określenia naprężeń i odkształceń za pomocą metody elementów skończonych (MES).



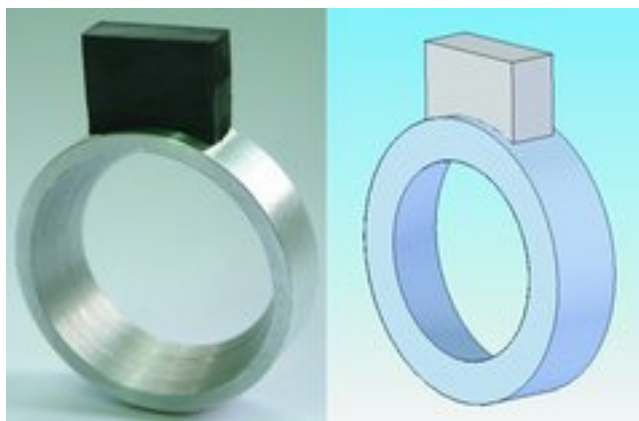
Rys. 1. Tester T-05 widok stanowiska

Warunki badań tribologicznych i obliczenia MES

Do badań laboratoryjnych wykorzystano stanowisko typu trzpiec-tarcza T-05 (Rys 1), stanowisko umożliwia pomiar wartości siły i współczynnika tarcia, zmiany wymiaru liniowego próbek oraz temperatury masowej próbki i medium smarującego. Do współpracy tribologicznej wybrano materiały często stosowane na elementy maszyn i urządzeń: tworzywo PEEK/BG (próbka) i stop aluminium EN-AW 5251 (przeciwpróbka). Badania przeprowadzono na drodze 0,4 km dla prędkości 0,2 m/s i przy obciążeniu w zakresie tarcia siły 50 N. Podczas testów wykorzystano dwa rodzaje wariantów tarcia to jest: styk skoncentrowany i styk rozłożony (Rys. 2 i 3) w warunkach tarcia technicznie suchego. Akwizycja danych przeprowadzono za pomocą wzmacniacza pomiarowego MST-02 i komputera klasy PC. Temperaturę otoczenia utrzymywano w zakresie 22 ± 1 °C, a wilgotność $35 \pm 5\%$. Zużycie liniowe określano jako przemieszczeniem czujnika indukcyjnego.

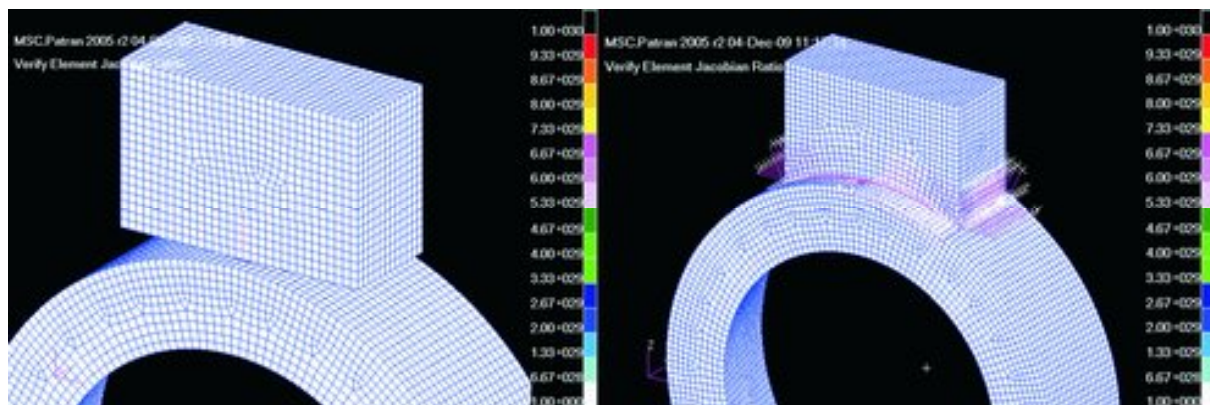


Rys. 2. Styk skoncentrowany obiekt rzeczywisty i model bryłowy



Rys. 3. Styk rozłożony obiekt rzeczywisty i model bryłowy

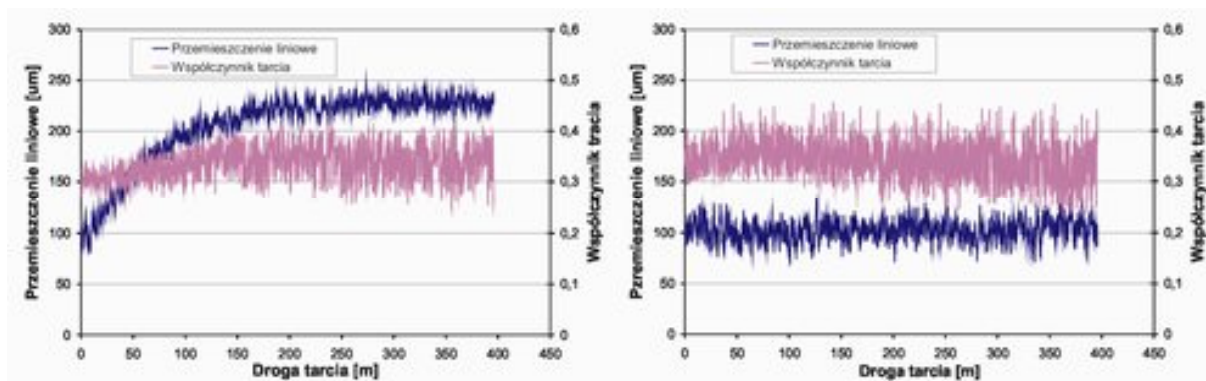
Modele bryłowe analizowanych skojarzeń do symulacji MES zbudowano w programie CAD Solid Edge. Następnie wyeksportowano je do środowiska MSC Software. Na model bryłowy w preprocesingu została nałożona siatka wygenerowana za pomocą funkcji Automesh, której poprawność zweryfikowano za pomocą macierzy Jakobiego (Rys. 4) [3÷5] weryfikacji siatki obliczenia wykonano dla styku rozłożonego i skoncentrowanego przy jednakowych warunkach początkowych (identycznych jak w badaniach tribologicznych).



Rys. 4. Weryfikacja poprawności wygenerowanej siatki dla styku skoncentrowanego i rozłożonego

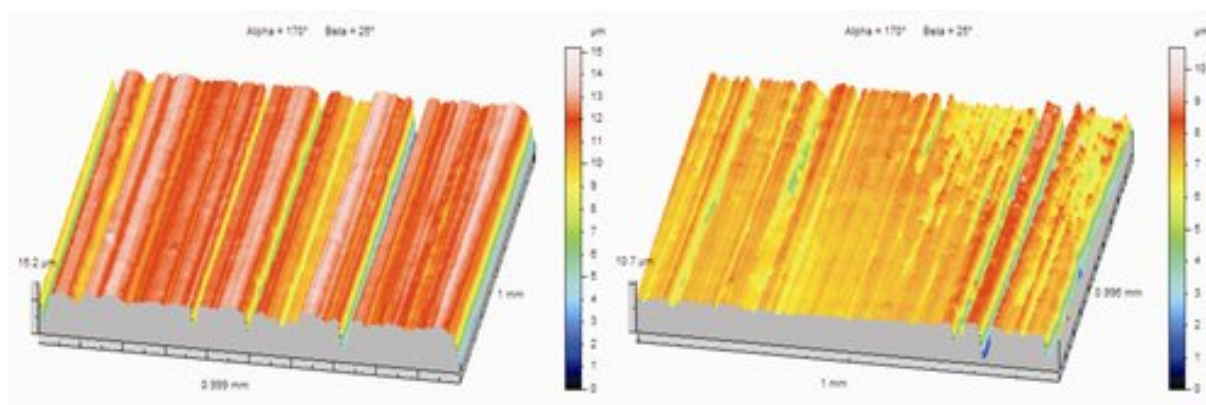
3. Wyniki badań

Wizualizacja wyników badań tribologicznych została przeprowadzona w arkuszu kalkulacyjnym i przedstawiona na rysunku 5. Otrzymane wartości średnie współczynnika tarcia dla styku skoncentrowanego i rozłożonego wynoszą około 0,33. Mimo bardzo zbliżonej wartości średniej, dla obu wariantów, obserwowany jest wzrost amplitudy współczynnika tarcia wraz z rosnącą drogą dla styku skoncentrowanego. W przypadku styku rozłożonego widoczna jest względnie stała amplituda w funkcji drogi. Wzrost amplitudy w przypadku styku skoncentrowanego, jest wprost proporcjonalny do rosnącej powierzchni współpracy, co dodatkowo ilustruje wykres zmian przemieszczenia liniowego z uwzględnieniem sił elementarnych.



Rys. 5. Charakterystyki tribologiczne dla styku od lewej skoncentrowanego i rozłożonego

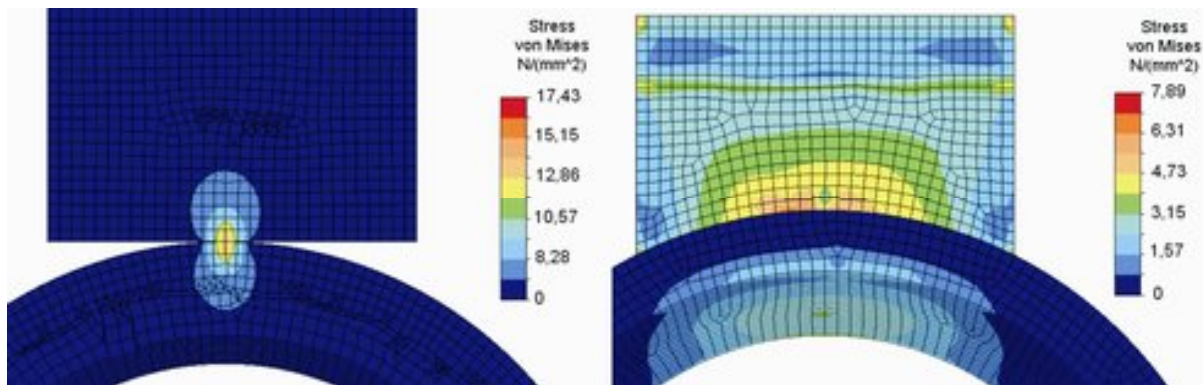
Poziomy przebieg charakterystyki przemieszczenia liniowego w styku rozłożonym jest spowodowany bardzo małymi wartościami zużycia masowego praktycznie nie rejestrowanymi za pomocą wagi analitycznej. Rejestrowane za pomocą czujnika przemieszczenia zużycie liniowe w styku skoncentrowanym było na granicy oznaczalności zużycia masowego i wynosiło około 0,1 mg. Podstawowym rodzajem zużycia jakie występuje dla powyższej pary materiałowej jest zużycie ciernie. Wiadomo o tym produkcie zużycia w postaci pyłu jaki zebrano pod powierzchnią tarcia, oraz obrazy izometryczne powierzchni klocków PEEK/BG po wypoziomowaniu i przeprowadzeniu korekcji liniowej (Rys. 6). Widoczne na obrazach bruzdy są owocami współpracy mikronierówności próbek w postaci zjawisk mikroskrawania i bruzdowania. Intensywność zużycia jest w dużym stopniu zależna od powierzchni współpracy i od naprężeń występujących w styku partnerów tribologicznych. Naprężenia dla styku rozłożonego przyjmuje się jako dla powierzchni nieodkształcalnej i jest to w założeniach wartością stałą równą stosunkowi siły obciążenia do teoretycznej powierzchni współpracy. Natomiast dla styku skoncentrowanego wylicza się naprężenia maksymalne ze wzorów Herta.



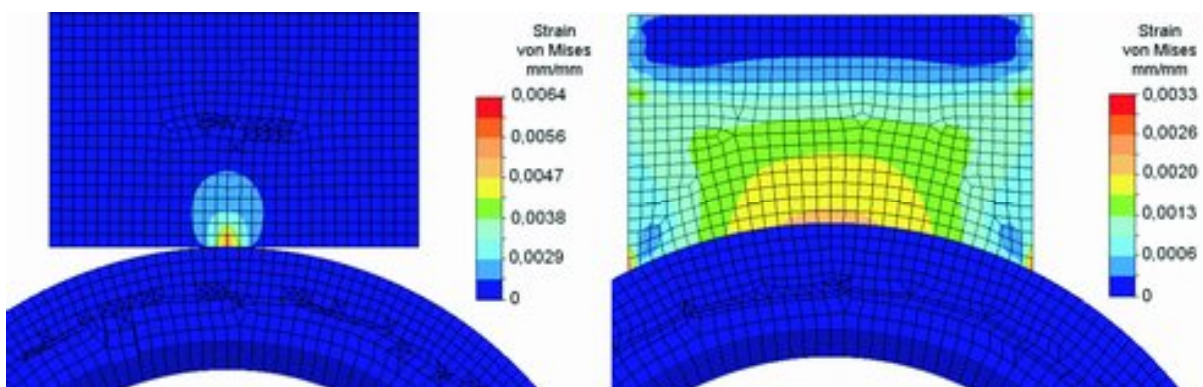
Rys. 6. Obrazy izometryczne powierzchni klocków PEEK/BG po wypoziomowaniu i przeprowadzeniu korekcji liniowej od lewej styku skoncentrowanego i rozłożonego

Analiza wyników otrzymanych z modelowania numerycznego za pomocą MES potwierdza znane z literatury rozkłady naprężeń i odkształceń występujące w styku skoncentrowanym (Rys. 7). Wyliczone naprężenia są jednak znacząco niższe od

naprężenia maksymalnych wyliczonych z wzorów Hertza. Powodem najprawdopodobniej jest uproszczenie modelu w stosunku do obiektu rzeczywistego i małe zagłębienie siatki w obrębie miejsca kontaktu. Wartość naprężenia dla styku rozłożonego jest ponad dwa razy mniejsze, a odkształcenia stanowi prawie połowę wartości wariantu skoncentrowanego (Rys. 8).



Rys. 7. Model rozkładu naprężenia oraz jego wartości w styku skoncentrowanym i rozłożonym



Rys. 8. Model rozkładu odkształceń oraz jego wartości w styku skoncentrowanym i rozłożonym

Rozkład naprężenia dla styku rozłożonego, przedstawiony na rysunku 7, uwidocznił ciekawą właściwość tego skojarzenia. Otrzymane przewidywane naprężenia w tym styku powinny się mieścić w granicach 0,5 MPa, z niewielkimi odstępstwami ze względu na dyskretyzację modelu. Skąd jednak wiążą się o prawie 60%. Powinno to o tym świadczą próbki stanowiące wycinek panwi nie modeluje go idealnie. Maksymalne naprężenia koncentrują blisko pionowej osi symetrii układu próbki przeciwpróbki. Dodatkowo na samych brzegach klocka występują naprężenia o wartości prawie połowy maksymalnych. Występowanie niekorzystnych zjawisk krańcowych potwierdzają rezultaty obliczeń numerycznych dla odkształceń (Rys. 8).

Niewłaściwy dobór warunków przeprowadzania testów tribologicznych, na przykład zbyt dużego obciążenia w zjawisku tarcia może spowodować, że naprężenia stykowe będą większe niż granica plastyczności materiału badanego i nastąpi

deformacja jednego z elementów w zę. Przykładem potwierdzającym taki stan naprężeń i odkształceń może być deformacja próbki polietylenowej (z polietylenu o dużej czystości i czystym UHMWPE) uzyskana podczas badania współpracy z pierścieniem ze stopu Vitalium. Deformacja kształtu jest zaznaczona czarnymi kreskami (Rys. 9). Szerokość powierzchni współpracy w miejscu największych naprężeń zwiększyła się z 6,35 mm do prawie 8 mm. Natomiast rogi próbki uległy oddaleniu od siebie o 2 mm. Wskazany więc powinno być najpierw przeprowadzenie analiz numerycznych rozkładu naprężeń i odkształceń w planowanym skojarzeniu a na tej podstawie dobór warunków badań tribologicznych.



Rys. 9. Klocek z UHMWPE po badaniach tribologicznych z zaznaczonymi odkształconymi krawędziami bocznymi

Podsumowanie

Tworząc nowoczesne materiały na wżyciu tribologiczne niemożliwym jest pominięcie badań empirycznych na stanowiskach do badania tarcia, zużycia i smarowania. Badania takie przeprowadza się najczęściej na urządzeniach znormalizowanych o duży stopień uproszczenia (badania modelowe) ze względu na niskie koszty i prostotę wykonania próbek. W takich badaniach parametry są wyraźnie wyodrębnione i łatwo można je utrzymać na stałym poziomie. Możliwe są jednak poważne zafałszowania z uwagi na przepływ ciepła czy reakcje tribochemiczne innego rodzaju, a także podwyższone obciążenia mechaniczne (naciski powierzchniowe).

Przeprowadzenie analiz MES modelowego skojarzenia rolka - klocek dla pary materiałowej tworzywo PEEK/BG - stop aluminium potwierdziło niedoskonałości związane z obciążeniem w zę tarcia w stosunku do naprężeń panujących w strefie styku. Dodatkowo ułatwia wnioskowanie dotyczące zjawisk jakie występują w badanym wle tribologicznym. Przeprowadzenie modelowania przed rozpoczęciem badań tribologicznych pozwala optymalnie dobrać parametry testów oraz zapobiega przekroczeniu dopuszczalnych naprężeń dla elementów w zę.

Literatura

- [1] Instrukcja obsługi testera T-05 typu rolka-klocek, Radom, 1995, ITEe
- [2] J. Cybo, A. Józefów, A. Matjasiński, P. Duda: Zastosowanie testera T-05 do badania zużycia, Katowice, 2000, Solidification of Metals and Alloys, Nr 44
- [3] G. Sjużajek, H. Błkowski: Zastosowanie MES do wyjaśnienia mechanizmu zużycia w warunkach tarcia, Warszawa, 2007, Biuletyn WAT, LVI
- [4] M. Bara, G. Sjużajek, H. Błkowski: Model testera do badań tribologicznych w ruchu posuwisto zwrotnym, Warszawa, 2009, Mechanik, Nr 1
- [5] G. Sjużajek, M. Bara, P. Golba, H. Błkowski: Trójwymiarowy model zużycia warstwy duplex w skojarzeniach ślizgowych, Warszawa, 2009, Mechanik, Nr 1