

Projekt mobilnego tribotestera w układzie rolka-kłosek i rolka-rolka, wykorzystywanego do badań w skojarzeniu ślizgowym i toczno-ślizgowym

The mobile tribotester design in roller-block and roller-roller system using in sliding and rolling-sliding contact

HENRYK BĄKOWSKI
ZBIGNIEW STANIK
MAREK JASIOK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.1.8>

W artykule przedstawiono eksperymentalne stanowisko do oceny zużycia warstwy wierzchniej w skojarzeniu ślizgowym i toczno-ślizgowym, wykorzystywane do badań w różnych warunkach eksploatacji, takich jak: ekstremalnie niska temperatura, niskie lub wysokie ciśnienie, obecność środka smarowego, obecność piasku czy wysokie prędkości obrotowe.

SŁOWA KLUCZOWE: tarcie ślizgowe i toczno-ślizgowe, tribotester

The paper presented an experimental study to estimation surface layer wear in sliding and rolling-sliding contact using in different operational conditions of study, such as extremely low temperatures, low or high pressure, presence of lubricant or sand whether high rotational speeds.

KEYWORDS: sliding and rolling-sliding contact, tribotester

W każdym skojarzeniu ślizgowym lub toczno-ślizgowym następuje zużycie tribologiczne, które wynika z procesu tarcia. Zużycie jest stanem maszyny lub poszczególnych jej części na wyznaczonym etapie zużywania. Zużywanie jest natomiast taką zmianą stanu części lub maszyny, która powoduje utratę właściwości użytkowych. Zużywanie zależy od rodzaju tarcia, obecności środka smarowego,

obciążenia części maszyn, prędkości poślizgu lub toczenia oraz temperatury. Na skutek tarcia następują: ubytek materiału z powierzchni styku, zmiana własności warstw wierzchnich oraz pogarszanie się jakości powierzchni tarcia – tym samym zwiększa się chropowatość oraz powstają rysy, pęknięcia i ubytki po wyrwanych cząstkach materiału. Ważne jest zatem prowadzenie badań w zakresie oceny warstwy wierzchniej w skojarzeniu toczno-ślizgowym w celu opóźnienia zmian zachodzących w procesie zużywania [1].

Wcześniej badania laboratoryjne prowadzono na urządzeniu typu Amsler (rys. 1) w układzie rolka-kłosek lub rolka-rolka. Głównym ograniczeniem w tych badaniach były parametry eksploatacyjne (tj. poślizgi) oraz wysokie koszty zakupu urządzenia, przez co nie każdy użytkownik miał do niego dostęp (w odróżnieniu od opisanego w artykule skonstruowanego stanowiska). Wartości poślizgów były dobierane w zależności od wymiarów geometrycznych współpracujących rolek. Zaproponowane stanowisko jest pozbawione tego ograniczenia, dlatego podczas badań można zmieniać wartości poślizgu w zależności od zmiennych warunków eksploatacji. Główną ideą, która przyświecała temu przedsięwzięciu, było uzyskanie na eksperymentalnym stanowisku wyników zbliżonych (lub identycznych) do wyników otrzymanych na profesjonalnym stanowisku typu Amsler w układzie rolka-rolka lub rolka-kłosek [2].

* Dr inż. Henryk Bąkowski (henryk.bakowski@polsl.pl), dr hab. inż. Zbigniew Stanik (zbigniew.stanik@polsl.pl) – Wydział Transportu Politechniki Śląskiej; mgr inż. Marek Jasiok (serwis@inter-turbo.pl) – Inter Turbo



Rys. 1. Stanowisko typu Amsler do badania zużycia

Celem zbudowania eksperymentalnego stanowiska do oceny warstwy wierzchniej w skojarzeniu toczo-ślizgowym było umożliwienie dowolnemu użytkownikowi przeprowadzenia badań w różnych warunkach, np.: w ekstremalnie niskiej temperaturze, w obecności środka smarnego lub piasku oraz przy wysokiej prędkości obrotowej. Dzięki opracowanemu rozwiązaniu obniżono koszty eksploatacji urządzenia. Ponadto zarówno urządzenie, jak i jego układy są łatwo dostępne, a koszty ich wymiany są niskie [6, 7].

Stanowisko i materiały

Główną przesłanką zaprojektowania maszyny do badań był aspekt ekonomiczny. Przy okazji pokazano, że nawet niewielkim nakładem finansowym można zbudować stanowisko odpowiadające profesjonalnemu urządzeniu [4]. Podstawowymi elementami niezbędnymi do wykonania tribotestera są:

- zasilacze PMT-24V500 W,
- silniki elektryczne prądu stałego z przekładnią planetarną,
- sterowniki silników 500 W,
- regulatory prędkości obrotowej,
- belka tensometryczna,
- łożyska samonastawne w obudowach,
- wałki napędowe,
- rolki badawcze (przeciwpróbka i próbka).

Zastosowanie silnika prądu stałego wyposażonego w przekładnię planetarną pozwala uzyskać wysoki moment obrotowy przy prędkości obrotowej wynoszącej 500 obr/min.

Najistotniejszą cechą prezentowanego stanowiska jest możliwość niezależnego sterowania prędkością obrotową dwóch odrębnych wałków napędowych (rys. 2). W praktyce można uzyskiwać dowolne wartości poślizgu bez względu na wymiar próbki czy przeciwpróbki.

Do łożyskowania wałków zastosowano łożyska samonastawne w obudowach. Dzięki umieszczeniu łożysk w obudowie możliwe było przymocowanie wałków do podstawy stanowiska. Łożyska w oprawie żeliwnej pozwoliły na łatwy montaż i demontaż wałków na stanowisku. Zaletą zestawu jest własny zapas smaru, który w razie konieczności można uzupełniać za pomocą specjalnego zaworu.



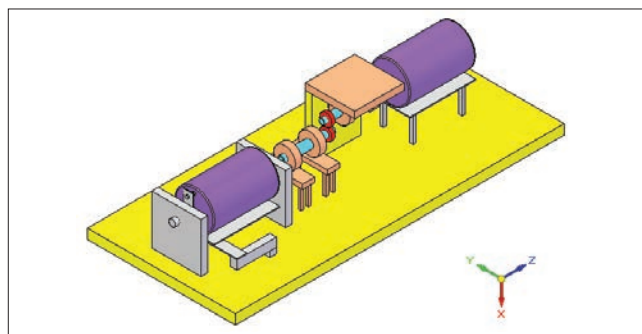
Rys. 2. Widok węzła tribologicznego eksperymentalnego stanowiska

Do pomiarów siły tarcia pomiędzy współpracującymi rolkami wykorzystano belkę tensometryczną podłączoną z jednej strony do uniesionego silnika elektrycznego, a z drugiej – do płyty stanowiska. Wraz ze wzrostem oporów tarcia silnik stara się obrócić wokół własnej osi. Przed tym obrotem powstrzymuje go układ pomiarowy złożony

z belki tensometrycznej, rejestrujący wartość siły, która usiłuje obrócić silnik (rys. 3). Na rys. 4 i 5 przedstawiono model 3D oraz widok stanowiska do badań zużycia, a na rys. 6 – schemat podłączenia wszystkich układów niezbędnych do poprawnej pracy eksperymentalnego stanowiska do badań tribologicznych.



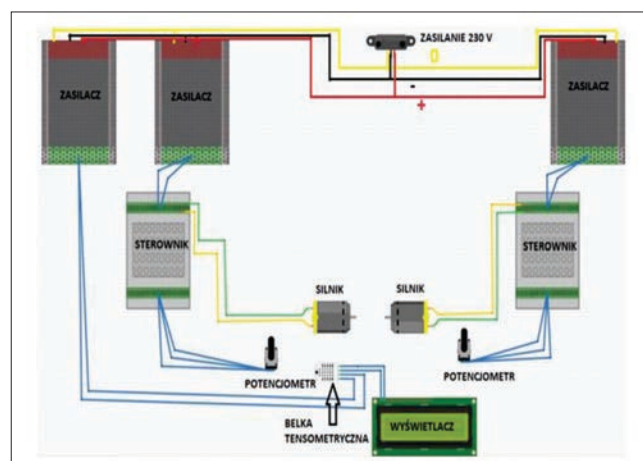
Rys. 3. Widok zamocowania belki tensometrycznej do płyty i silnika napędowego



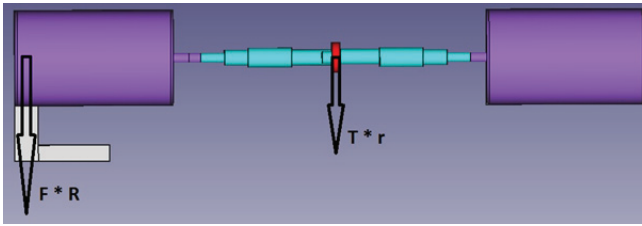
Rys. 4. Model eksperymentalnego stanowiska do badań w układzie rolka-rolka lub rolka-klocek



Rys. 5. Widok rzeczywistego stanowiska



Rys. 6. Schemat podłączenia układu



Rys. 7. Schemat pary sił do wyznaczania sił tarcia na stanowisku

Do wyznaczenia współczynnika tarcia (siły tarcia T) posłużono się parą sił (rys. 7). Promień R jest odległością od belki tensometrycznej do osi silnika, natomiast r jest promieniem rolki.

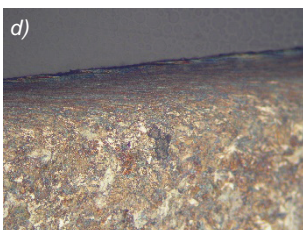
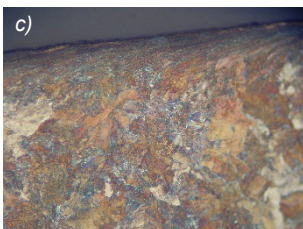
Siłę tarcia wyznaczono z przekształcenia wzoru $T \cdot r = F \cdot R$:

$$T = \frac{F \cdot R}{r}$$

Badania tribologiczne i symulacyjne

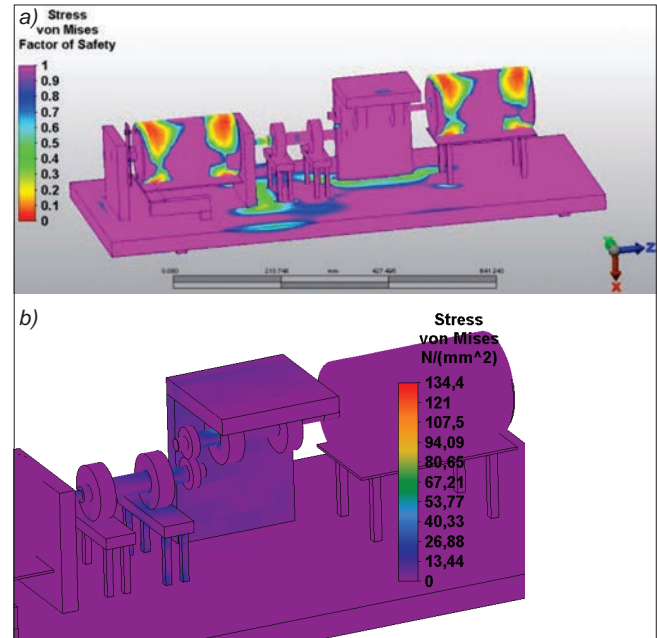
Badania zostały wykonane na eksperymentalnym stanowisku do badań tribologicznych w układzie rolka-rolka oraz w układzie rolka-klocek [5].

Główną zaletą uniwersalnego stanowiska do badań jest możliwość zmian prędkości obrotowej wałka (i tym samym poślizgu) zarówno z osadzoną przeciwpróbką, jak i próbką. Aby pokazać podobieństwo procesu zużywania na eksperymentalnym stanowisku (rys. 5) w stosunku do przebiegu tego procesu na standardowym stanowisku Amslera w układzie rolka-rolka (rys. 1), na rys. 8 przedstawiono zużycie warstwy wierzchniej w skojarzeniu toczno-ślizgowym. To podobieństwo zostało potwierdzone badaniami metalograficznymi warstwy wierzchniej [3, 4].



Rys. 8. Widok powierzchni tarcia i warstwy wierzchniej rolki po współpracy na stanowisku Amslera (a, b) oraz na eksperymentalnym stanowisku (c, d)

Badania symulacyjne z wykorzystaniem metody elementów skończonych przedstawiają rozkład naprężeń i współczynnik bezpieczeństwa w odniesieniu do całego stanowiska [8]. Największe naprężenia występują pomiędzy płytą a zamocowanym ramieniem, dociskającym górną rolkę do dolnej, oraz na końcu wałka, na którym zamocowana jest rolka, co może doprowadzić do powstania pęknięć (rys. 9).



Rys. 9. Współczynnik bezpieczeństwa (a) i rozkład naprężeń (b)

Podsumowanie

Dotychczas badania prowadzono jedynie na urządzeniu typu Amsler. Ograniczały się one do badań w wybranych warunkach eksploatacji. Należy podkreślić, że urządzenie typu Amsler jest drogie, a więc nie jest dostępne dla każdego użytkownika – w odróżnieniu od zbudowanego stanowiska eksperymentalnego [6, 7]. Wyniki przeprowadzonych na nim badań są zbliżone do wyników otrzymanych na profesjonalnym stanowisku typu Amsler w układzie rolka-rolka. Dzięki temu mechanizm zużywania w obu przypadkach jest identyczny, co potwierdzono badaniami metalograficznymi (rys. 8).

Praca została sfinansowana w ramach BK-254/RT1/2017.

LITERATURA

1. Nosal S. „Tribologia. Wprowadzenie do zagadnień tarcia, zużywania i smarowania”. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2012.
2. Hu J.J., Lius Q.Y., Shen P., Wang C.Y., Zhong W. “Experimental investigation between rolling contact fatigue and wear of high-speed and heavy-haul railway and selection of rail material”. *Wear*. 271 (2011): s. 2485–2493.
3. Clayton P., Su X. “Ratchetting strain experiments with a pearlitic steel under rolling/sliding contact”. *Wear*. 205 (1997): s. 137–143.
4. Kristan J., Sawley K. “Track wear tests of bainitic and pearlitic rails”. *Railway Track & Structures*. 4 (2002): s. 17–19.
5. Bąkowski H. „Ocena procesów zużywania skojarzenia toczno-ślizgowego za pomocą płatkowych produktów zużycia”. Sosnowiec: Oficyna Wydawnicza Inter Media, 2014.
6. Böhmer A. i in. “Beanspruchungen von schienen unter statischen, dynamischen und thermischen belastungen”. *Glaser's Annalen*. 127, 3–4 (2003): s. 116–130.
7. Hiroyuki M., Iwafuchib K., Kanematsub Y., Satohb Y. “On-site investigation and analysis of flaking damage leading to rail break”. *Wear*. 271 (2011): s. 168–173.
8. Posmyk A., Bąkowski H. “Wear mechanism of cast iron piston ring/aluminum matrix composite cylinder liner”. *Tribology Transaction*. 56 (2013): s. 806–815.