

Wojciech ŻUROWSKI*

**STANOWISKO DO BADAŃ UKŁADÓW
SPRZĘGAJĄCYCH W WARUNKACH
ICH ZWIĘKSZONEJ ODPORNOŚCI
NA ZUŻYCIE TRIBOLOGICZNE**

**THE STAND FOR RESEARCH OF FRICTIONAL
INTERFACE SYSTEM UNDER CONDITIONS
OF INCREASED THEIR RESISTANCE TO TRIBOLOGICAL
WEAR**

Słowa kluczowe:

zużycie tribologiczne, odporność na zużywanie, tarcie suche

Key-words:

tribological wear, wear resistance, dry friction

Streszczenie

*W referacie *Badania maksymalnej odporności układów metali na zużywanie tribologiczne na zmodyfikowanej maszynie T-01*, opublikowanym w Materiałach XXV Szkoły Tribologicznej, przedstawiono stanowisko badawcze do badań maksymalnej odporności na zużywanie tribologiczne. Obecnie wykonane zostało nowe urządzenie służące do badań odporności układów sprzęgających. W artykule omówiono jego konstrukcję oraz*

* Politechnika Radomska, Instytut Budowy Maszyn, ul. Krasickiego 54, 26-600 Radom.

możliwości badawcze. Jest to zmodyfikowany układ typu trzpień–tarcza modelujący typowe warunki pracy tarczowego układu hamulcowego lub sprzęgłowego, ale z wymuszeniem temperatury strefy tarcia. Oprócz części mechanicznej stanowisko wyposażone jest w cyrkulator służący do ustalania i stabilizowania temperatury w strefie tarcia.

WPROWADZENIE

Badania odporności na zużywanie opierają się na analizie przemian termodynamicznych zachodzących w systemie termodynamicznym otwartym. Celem jest stwierdzenie, w jakich warunkach układ uzyskuje największą odporność. Podstawy teoretyczne zagadnienia zostały przedstawione w artykule *ZAGADNIENIE MINIMALIZACJI ZUŻYCIA CIERNEGO* opublikowanym w Tribologii 4/2008. Należy jednak przywołać zasadnicze założenia rozważań. Przyjęto jako aksjomat równanie pierwszej zasady termodynamiki dla systemów otwartych. Równanie to zostało wykorzystane po raz pierwszy przez J. Sadowskiego w odniesieniu do dowolnego przypadku procesu tarcia i zużywania ciał stałych [L. 2, 3]. Rozważając proces tarcia, zużywania oraz problem odporności na zużywanie na makroskopowym poziomie organizacji materii, przyjmujemy za podstawę równanie bilansu energii. Podejście fenomenologiczne prowadzi do opisu analitycznego odporności na zużywanie, gdzie nie uwzględnia się budowy i właściwości mikroskopowych materii.

Za podstawę do opracowania stanowiska badawczego przyjęto model matematyczny obiektu badań, określający odporność na zużywanie tribologiczne, czyli pracę właściwą zużycia – wzór (1) [L. 4–6].

$$e_R^x = \frac{I}{-a + b\Theta} \quad [\text{J/g}] \quad (1)$$

$$a = \frac{\beta\Theta_x}{\Theta_0 - \Theta_x} \quad [\text{g/J}] \quad (2)$$

$$b = \frac{\beta}{\Theta_0 - \Theta_x} \quad [\text{g/J/K}] \quad (3)$$

gdzie: a i b – stałe charakteryzujące system tribologiczny,

Θ – temperatura styku ciał [K],

Θ_0 – temperatura styku nierówności powierzchni [K],

Θ_x – temperatura charakterystyczna – temperatura zwiększonej odporności na zużywanie tribologiczne [K],

β – współczynnik zużywania [g/J].

Praca właściwa zużycia e_R^x jest ilorazem pracy tarcia i masy produktów zużycia. Wobec tego w trakcie badań powinny być mierzone i ewentualnie zadawane wartości następujących wielkości: zużycie tribologiczne Δm , czas tarcia t , prędkość ślizgania v , obciążenie pary trącej N , siła tarcia T , praca tarcia A , temperatura Θ .

ZAŁOŻENIA KONSTRUKCYJNE TESTERA TT-3

Założenia konstrukcyjne nowego testera wykorzystują model fizyczny zakładający, że system tribologiczny jest w stanie wymieniać energię I materię z otoczeniem, przy czym przyczyną wszelkich przemian zachodzących w systemie i na jego granicach jest praca tarcia. Wywołuje ona wzrost energii wewnętrznej układu, a także jej dyssypację na sposób ciepła kompensującą dyssypację mechaniczną, czyli zużywanie.

W ramach niniejszego projektu przeprowadzono krytyczną analizę istniejących rozwiązań konstrukcyjnych testerów tribologicznych w celu wyboru optymalnej konstrukcji. Najważniejszym warunkiem było skonstruowanie takiego węzła tarcia, który umożliwiłby regulację temperatury bezpośrednio w strefie tarcia. Przyjęto, że stanowisko badawcze powinno zapewnić przede wszystkim możliwość realizacji badań w warunkach tarcia technicznie suchego w celu stwierdzenia mierzalnego zużycia w stosunkowo krótkim czasie, możliwość ślizgania się po sobie badanych ciał metalicznych, dociskanych do siebie z określoną siłą, w celu spowodowania dominacji jednego mechanizmu zużywania – zużywania utleniającego z towarzyszącym mu mechanochemicznym ścieraniem oraz utworzenie i regulowanie granicy izotermicznej w ściśle określonej odległości od styku trących się ciał.

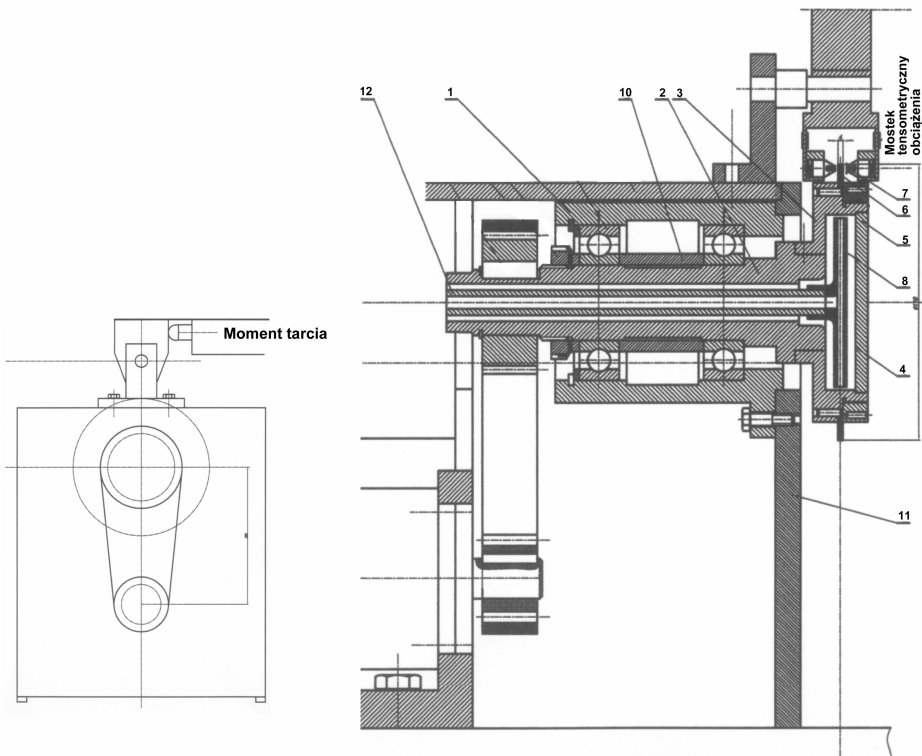
Za obiekt badań przyjęto układ trących się ciał metalicznych. Realizację fizyczną obiektu badań, podobnie jak we wcześniejszych testerach, stanowi układ pierścień–ślizgacz. Pierścień stanowi obracający się element pary trącej. Zastosowano jednak dwa nieruchome ślizgacze w postaci próbek o płaskiej powierzchni styku z pierścieniem. Materiał próbki można dobierać osobno dla każdego skojarzenia, aby możliwa była ocena wpływu własności fizycznych, składu chemicznego, twardości i struktury materiału na zjawisko zwiększania odporności na zużywanie. Możliwe jest zastosowanie zarówno próbek metalicznych, jak i wykonanych z innych materiałów.

Układ dwóch próbek dociskanych symetrycznie do tarczy dobrze modeluje układy sprzęgające, a ponadto zapewnia równomierne obciążenie.

zenie. Obciążenia próbek są wewnętrznymi siłami układu obciążającego. System ten gwarantuje równe obciążenie obydwu próbek i umożliwia łatwy pomiar siły tarcia oraz, w razie konieczności, pomiar sumarycznego liniowego zużycia próbek.

Dla przyjętych założeń opracowano kilka możliwych wersji wstępnych projektowanego stanowiska (wymiary, rodzaj głowicy pomiarowej napęd, rodzaj i rozmieszczenie czujników pomiarowych, sterowanie i rejestracja pomiarów). Dokonano wyboru wersji optymalnej z uwzględnieniem spodziewanych efektów oraz możliwości technicznych.

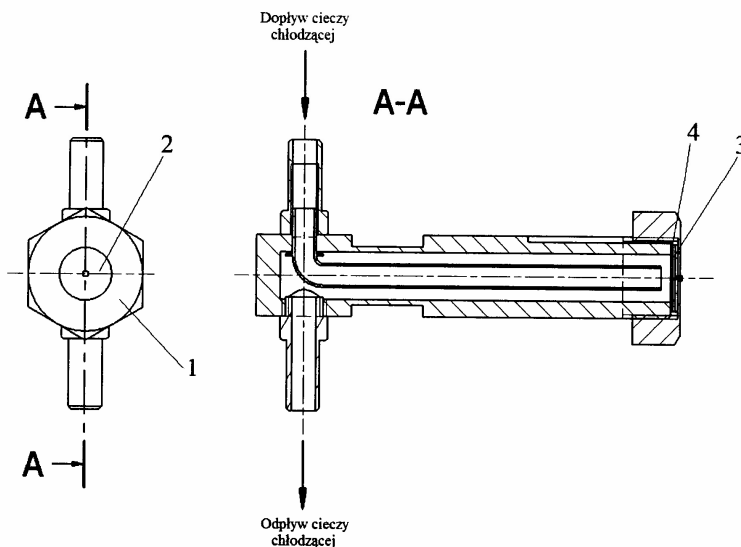
Na **Rysunku 1** przedstawiono schemat testera.



Rys. 1. Schemat konstrukcyjny testera TT-3: 1 – tuleja nośna, 2 – wałek, 3 – tarcza chłodząca, 4 – docisk próbki, 5 – pokrywa tarczy chłodzącej, 6 – przeciwpółka, 7 – PRÓBKKA, 8 – tarcza chłodząca, 9 – przewód chłodzący, 10 – tuleja dystansowa, 11 – korpus, 12 – doprowadzenie cieczy chłodzącej

Fig. 1. The constructional schema of the tester TT-3: 1 – the bearing liner, 2 – roller, 3 – the cooling shield, 4 – the clamp of the sample, 5 – covers the cooling shield, 6 – the anti-sample, 7 – THE SAMPLE, 8 – the cooling shield, 9 – the cooling canal, 10 – the distance liner, 11 – the body, 12 – lead-in of the coolant liquid

Parę trącą stanowią ślizgacze wykonane z wybranego materiału oraz pierścieni ze stali gat. NC6 o twardości 65 HRC. Przyjęte rozwiązanie konstrukcyjne pozwala na stosowanie zarówno pierścieni stalowych, jak i żeliwnych (z żeliwa białego o dużej twardości) oraz stalowych pokrytych warstwami zwiększającymi odporność na ścieranie. Pierścien jest elementem obrotowym, w trakcie tarcia mocowanym na tarczy zawierającej układ chłodzenia napędzanej silnikiem elektrycznym z regulatorem obrotów i przekładnią planetarną. Zastosowano zespół serwosilnika Stoeber typ PA312ED. Prędkość obrotowa tarczy regulowana jest sterownikiem podłączonym poprzez kartę pomiarową Advantech do komputera klasy PC. W celu stabilizacji termicznej tarczy zastosowano cyrkulator CF-40. Ślizgacze mocowane są w specjalnych uchwytach miedzianych. Uchwyty te służą do utworzenia granicy izotermicznej w odległości 0,5-0,1 mm od strefy tarcia. (Rys. 2). Ślizgacz mocowany jest w gnieździe uchwytu za pomocą nakrętki. W uchwycie zamontowano końcówkę termoelementu żelazo-konstantan, pozostająca w kontakcie fizycznym ze ślizgaczem. Wewnątrz uchwytu miedzianego wykonano kanał, przez który doprowadzony i odprowadzany jest płyn chłodzący.



Rys. 2. Uchwyt do mocowania próbek: 1 – nakrętka dociskowa, 2 – próbka, 3, 4 – podkładki uszczelniające

Fig. 2. The handle to samples with zone of friction temperature control system: 1 – the clamping nut, 2 – the sample, 3, 4 – sealing up washers

Wartość temperatury charakteryzującej granicę izotermiczną jest mierzona za pomocą termoelementu żelazo-konstantan. Pomiar ten dokonywany jest w trakcie tarcia, przez co uwzględnia się jednocześnie wpływ ciepła tarcia i wymiany ciepła zapewnianej przez cyrkulator CF-40 (**Rys. 3**). Ślizgacze wraz z uchwytami osadzone są w głowicy pozwalającej na regulację nacisku. Zespół obciążający testera składa się z dynamometru wykonanego w formie śruby rzymskiej. Na dynamometrze umieszczony jest tensometryczny czujnik pomiaru siły pozwalający na dokładne zadawanie zamierzonego nacisku. Do pomiaru oporów tarcia służy tensometryczny układ pomiaru siły tarcia połączony z kartą pomiarową. Zużycie próbek i przeciwpróbki mierzone jest za pomocą wagi precyzyjnej z dokładnością do 0,01 mg.



Rys. 3. Cyrkulator Julabo CF-40

Fig. 3. The circulator CF-40

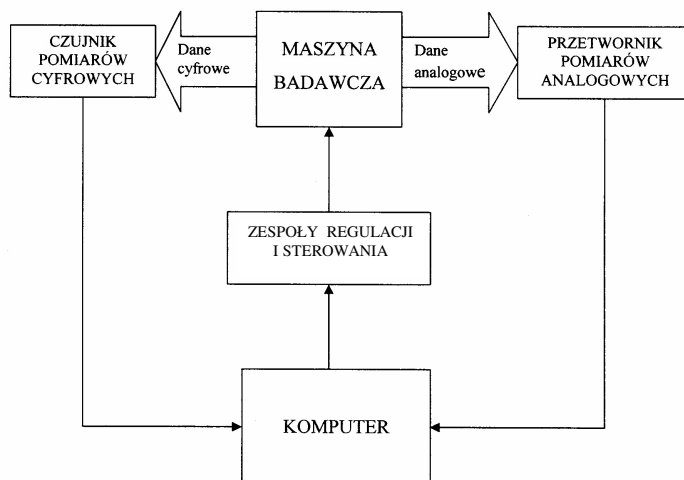
Cyrkulator Cryo-Compact CF40 został wyprodukowany przez JULABO LABORTECHNIK. Jest to urządzenie służące do zasilania w stabilną temperaturę ciecz zewnętrznych obiegów. Cyrkulator umożliwia uzyskanie temperatur w zakresie: -40 do $+150^{\circ}\text{C}$, stabilności temperatury: $\pm 0,03^{\circ}\text{C}$ i prędkości przepływu: 15 l/min. System sterowania wyposażony jest w mikroprocesorowy sterownik zapewniający wysoką stabilność temperatury. Jako ciecz chłodzącą zastosowano olej Thermal S z termicznym zakresem stosowania $-50 \div 150^{\circ}\text{C}$.

W przypadku badań, prowadzonych poniżej temperatury otoczenia, można dodatkowo korzystać z komory klimatyzacyjnej wykonanej z po-

liwęglanu montowanej na głowicy układu trącego. Komora pozwala uniknąć skraplania się pary wodnej na chłodnych częściach aparatury.

Kontrolowaniu usuwania produktów zużycia ze strefy tarcia i jednoczesnemu stabilizowaniu przez to oporów tarcia służy zgarniacz filcowy.

Na **Rysunku 4** przedstawiono schemat blokowy systemu sterowania i pomiaru testera. System wykorzystuje trzy termoelementy do kontroli temperatury: jeden w tarczy, do której mocowana jest przeciwpróbka i dwa w uchwytach próbek. Ponadto wykorzystywane są: układ pomiaru oporów tarcia i układ pomiaru siły docisku próbek. Sygnały zbierane są z wykorzystaniem karty pomiarowej umieszczonej w komputerze. Zwrotnie uzyskiwane są sygnały sterujące prędkości poślizgu i temperaturą.



Rys. 4. Schemat blokowy systemu sterowania i pomiaru

Fig. 4. Block diagram of friction' zone temperature control system

PODSUMOWANIE

Stanowisko badawcze zostało wykonane w Instytucie Budowy Maszyn Politechniki Radomskiej. Obecnie urządzenie zostało uruchomione, przeprowadzono kalibrację i rozpoczęto badania. Stanowisko umożliwia ustawianie wartości parametrów tarcia – nacisku w zakresie 0÷6 MPa, prędkości ślizgania 0÷5 m/s, temperatury w strefie tarcia w zakresie od -40° do +150°C. Węzeł tarcia ma postać styku płaskiego utworzonego przez obracający się pierścień i dwa dociskane do niego obustronnie trzpienie.

Zrealizowany projekt pozwoli na przejście od założeń teoretycznych do zastosowań praktycznych. Efektem użytecznym ma być opracowanie metody maksymalizacji odporności na zużywanie ciernych układów sprzęgających poprzez zwiększenie trwałości odpowiednich węzłów ciernych eksploatowanych w warunkach rzeczywistych.

LITERATURA

1. Żurowski W.: Zagadnienie minimalizacji zużycia ciernego. Tribologia nr 4/2008.
2. Sadowski J.: Praca właściwa zużycia; ZEM, 1987, z. 1–2.
3. Sadowski J.: Thermodynamische Grundgesetze des tribologischen Verschleißes; Tribologie+Schmierungstechnik, 1990, nr 2.
4. Sadowski J.: Untersuchungen zur maximalen Verschleißfestigkeit fester Körper; Tribologie+Schmierungstechnik, 1990, nr 3.
5. Żurowski W.: Energetyczny aspekt wzrostu odporności metali na zużywanie w procesie tarcia technicznie suchego. Rozprawa doktorska; Politechnika Świętokrzyska, Kielce 1996.
6. Żurowski W., Sadowski J.: Badania maksymalnej odporności układów ciał metalicznych na zużywanie tribologiczne; Cz. I/II Inżynieria Powierzchni nr 4/2000, 1/2001, IMP – Warszawa.

Recenzent:
Stanisław F. ŚCIESZKA

Summary

In the article of *Research on maximal resistance of metallic body systems to tribological wear on modified T-01 test stand* published in the Proceedings of XXV-th Tribological School were introduced used till then testers attends to research conditioned extortions of the temperatures of the zones of the frictions. At present was made new device servants to research of the resistance of interface systems. In the paper, its construction and exploratory possibilities are discussed. This is the modified system of the type pin-disc modelling typical working conditions of the disc braking system or of a disc clutching system, but with the extortion of the temperature of the

zone of the friction. Except the mechanical part the stand equipped is into the circulator the attend to the settlement and stabilizing of the temperatures in the zone of the friction.

Constructional foundations of the new tester use the physical model putting on that the tribology system is in a position to exchange the energy and the substance with the environment, whereat the reason of all changes happening in the system and on his limits are the work of the friction. It causes the increase of the internal energy of the system and its dissipation after the manner of the heat compensating mechanical dissipation that is the waste energy.