

PRZYROST ENERGII WEWNĘTRZNEJ GUMY PODCZAS PROCESU TARCIA

Słowa kluczowe

Tarcie, termodynamika.

Key words

Friction, thermodynamics.

STRESZCZENIE

W pracy tej poddano termodynamicznej analizie proces przejścia ze spoczynku do ruchu między gumą a stalą podczas ruchu ślizgowego. Rozpatrywanie procesu tarcia jako zjawisko elementarne [1] pozwoliło wyeksponować występującą między parą cierną adhezję. Szczepienie między gumą a gładką stalową kulką powoduje rozciągnięcie warstwy wierzchniej gumy do momentu zerwania wiązania adhezyjnego. Pozwoliło to, stosując opis termodynamiczny, analizować wpływ rozciągnięcia gumy na przyrost energii wewnętrznej jej warstwy wierzchniej. Opierając się na I i II zasadzie termodynamiki [2] wyprowadzono dla modelu stalowa kulka – próbka gumowa równanie uwzględniające przyrost energii wewnętrznej warstwy wierzchniej gumy oraz wykonano na stanowisku badawczym własnej konstrukcji badania w celu wyznaczenia wartości tego przyrostu.

BUDOWA MODELU

W celu termodynamicznej analizy procesu przejścia ze spoczynku do ruchu między stykającymi się elementami założono, że analizowany model fizyczny składa się z obciążanych dwóch płaskich gumowych próbek, między którymi obraca się wiertnie gładka stalowa kulka [3] (rys. 1 i 2). Model ten potraktowano jako elementarne zjawisko tarcia stali o gumę, podczas przejścia kulki do obrotu, na który głównie ma wpływ oddziaływanie adhezyjne między powierzchniami. Przy powolnym wzroście zewnętrznego momentu siły przyłożonego do kulki M , aż do osiągnięcia równowagi z powstałym oporem

adhezyjnym F_{adh} między gumowymi próbkami a kulką (rys. 1), model można traktować jako quasistatyczny. Stosując niewielki nacisk (ok. 0,5 MPa) założono, że przejście ze spoczynku do ruchu stykających się elementów powoduje zmiany odwracalne z zachowaniem nienaruszonego stanu ich warstwy wierzchniej. Powoduje to, że przy powolnym wciskaniu kulki stalowej i przy niewielkiej wartości zagłębienia jej w próbki gumowe przyrost temperatury można pominąć, a proces potraktować jako izotermiczno-izobaryczny. Przyjęto, że do momentu pojedynczego zerwania wiązania adhezyjnego między kulką a próbkami gumowymi występuje skrócenie warstwy wierzchniej gumy tylko poza obszarem styku.

Dla ciała doskonale sprężystego jakim jest powierzchnia gumy deformowanej pod wpływem obciążenia zewnętrznego wywołanego wciśnięciem stalowej kulki, połączone równanie pierwszej i drugiej zasady termodynamiki, dla przypadku wciskania stalowej kulki w próbkę gumową przyjmuje postać:

$$TdS = dU + pdV + F_n dh \quad (1)$$

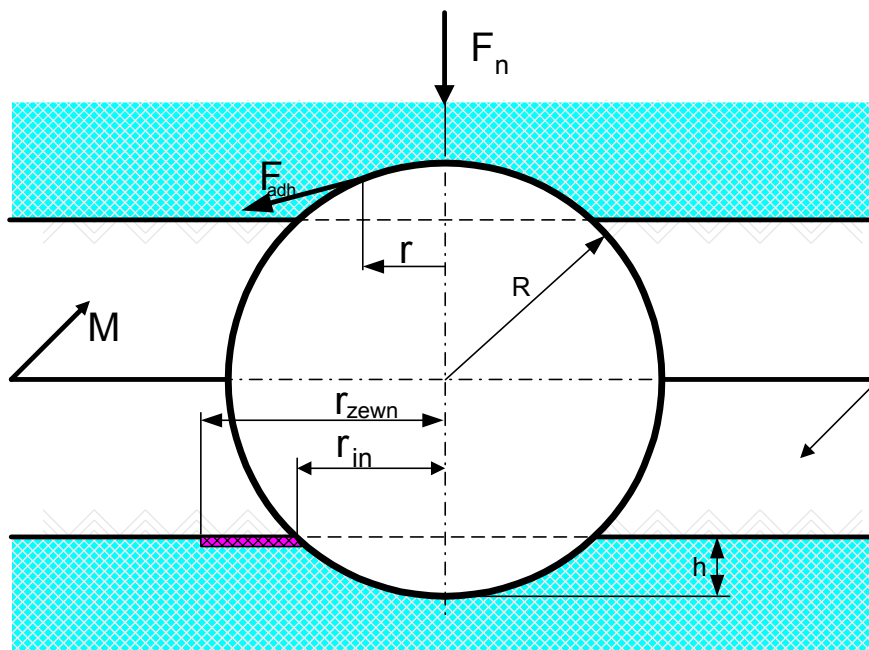
gdzie: dh – ubytek wysokości ściskanej próbki, S – entropia, T – temperatura, U – energia wewnętrzna, p – ciśnienie, V – objętość.

Równanie (1) obowiązuje przy założeniu, że ciśnienie ośrodka, w którym odbywa się to zjawisko pozostaje stałe. Dla gumy współczynnik Poissona wynosi $\nu=0.5$, co oznacza, że objętość gumy nie ulega zmianie podczas odkształcenia [4]; można wtedy przyjąć, że

$V=\text{const}$, a stąd $dV=0$. Równanie (1) przyjmie więc postać:

$$TdS = dU + F_n dh \quad (2)$$

Jeżeli zerwanie szczytowania nastąpi poprzez obrót kulki wokół własnej osi (przy założeniu bardzo powolnego procesu zrywania tych wiązań), to energia potrzebna do tego będzie równa pracy sił adhezji. Podczas obrotu kulki następuje deformacja styczna powierzchni próbki gumowej; warstwa wierzchnia przemieszcza się o kąt ϕ . Po przekroczeniu tego kąta następuje zerwanie spoczynkowego wiązania adhezyjnego. Można więc przyjąć, że wartość kąta ϕ stanowi miarę oddziaływania adhezyjnego pomiędzy kulką a próbką.



Rys. 1. Schemat tribometru jednokulowego; M – moment siły, F_n – siła normalna; r_{in} – promień wciśnięcia kulki, r_{zewn} – obszar rozciągnięcia gumy, R – promień kulki, h – głębokość wciśnięcia kulki w próbki gumowe,

Fig. 1. One-ball tribometer scheme; M – torque, F_n – normal load, r_{in} – radius of indentation, r_{zewn} – an area of rubber surface strength, R – ball radius, h – the depth of the ball pressing on the rubber sample,

Pole styku kulki z gumą podczas powolnego jej obrotu do momentu zerwania wiązania adhezyjnego nie ulega zmianie. Kulka obracając się pod wpływem momentu zewnętrznego M o kąt ϕ wykona pracę elementarną $dL = Md\phi$ i do równania (2) można dołączyć to wyrażenie:

$$TdS = dU + F_n dh + Md\phi \quad (3)$$

gdzie: $d\phi$ – kąt skręcenia potrzebny do zerwania połączenia.

Jeżeli całkowita ilość pracy podczas tarcia zostaje zamieniona w ciepło tarcia, to dla analizowanego modelu można wykazać, że przyrost temperatury na powierzchni gumy jest niezauważalny. Można przyjąć, że dla temperatury $T = \text{const}$ również przyrost entropii systemu można pominąć, czyli: $S = \text{const}$, a stąd $dS = 0$. Równanie (3) przyjmie więc postać:

$$-dU = F_n dh + Md\phi \quad (4)$$

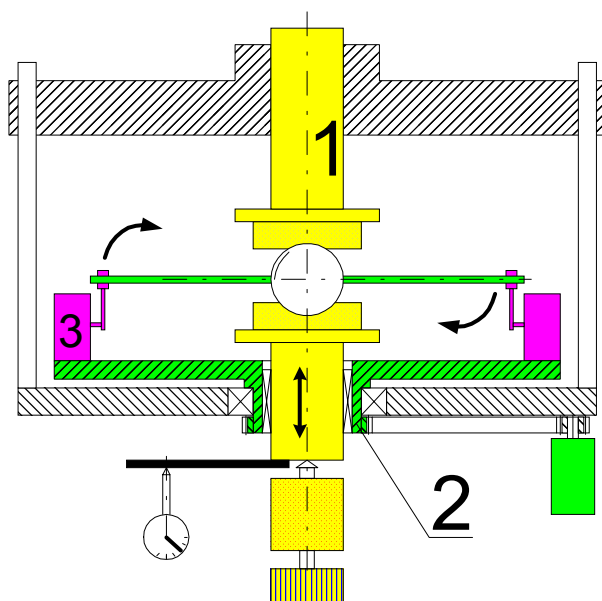
Równanie (4) opisuje przyrost energii wewnętrznej odkształcanej warstwy wierzchniej gumy podczas skręcania stalowej kulki w próbkach gumowych do momentu wystąpienia ruchu między nimi.

SPOSÓB PROWADZENIA BADAŃ

Badania wykonano na stanowisku własnej konstrukcji [5]. Zostało ono zbudowane z dwóch niezależnie od siebie działających układów (rys. 2). Na stanowisku tym wyznaczyć można wartość składowej adhezyjnej współczynnika tarcia między stykającymi się materiałami oraz współczynnik tarcia wiertnego. Można również badać wielkość oporów tarcia powierzchni suchych i zwilżonych.

Badania wykonano w klimatyzowanym pomieszczeniu w temperaturze 23°C przy wilgotności powietrza 52%, czyli dla warunków, w jakich przeprowadza się badania ścieralności próbek gumowych zgodnie z normą PN-70/C-04200.

Dla 20 próbek i każdego z trzech obciążeń 10 N, 20N i 30 N wykonano po 10 pomiarów potrzebnych do wyznaczenia przyrostu energii wewnętrznej gumy podczas tarcia.



Rys. 2. Stanowisko do pomiaru oporów tarcia. : 1- układ obciążający próbki gumowe, 2 – układ obrotowy kulki, 3 – przyrząd do pomiaru oporu tarcia.

Fig. 2. Test-rig. 1- loading system, 2- rotating system, 3- friction resistance gauge,

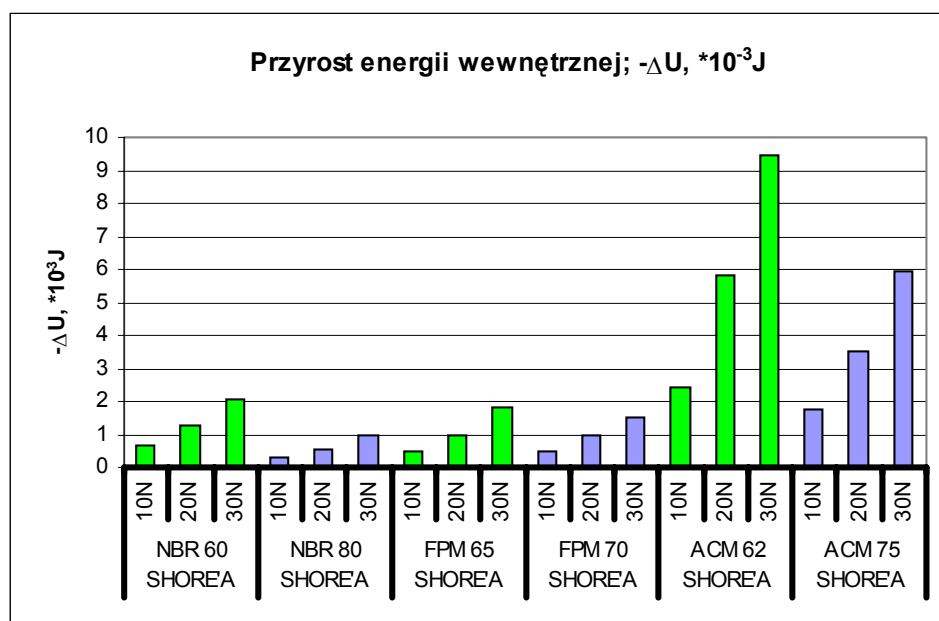
WYZNACZENIE PRZYROSTU ENERGII WEWNĘTRZNEJ BADANYCH GUM

Do badań wybrano gumy wykonane z 3 mieszanek. Każdy badany elastomer wykonano w dwóch klasach twardości. Materiały, oznaczone skrótami według ISO 1629-1976, są stosowane w przemyśle samochodowym. Badaniom poddano materiały używane w produkcji uszczelnień wałów obrotowych silników spalinowych:

guma NBR – guma wykonana z kauczuków butadienowo-akrylonitrylowych,

guma ACM – kopolimery akrylanu etylu lub innych akrylanów z niewielką ilością monomeru umożliwiającą sieciowanie,

guma FPM – kauczuki o łańcuchu polimetylenowym mające jako podstawniki grupy fluoroalkilowe lub fluoroalkoksyłowe oraz fluor.



Rys. 3. Wykres przedstawiający przyrost energii wewnętrznej na powierzchni gumy w procesie przejścia ze spoczynku do ruchu.

Fig. 3. The diagram of the inner energy increment on the rubber surface. Pass process from stop to start-up between the steel ball and the rubber samples.

WNIOSKI

Dla przedstawionych wyników badań przyrostu energii wewnętrznej przedstawiono następujące wnioski:

1. Dla zaproponowanego modelu stalowa kulka – próbka gumowa możliwy jest termodynamiczny opis procesu tarcia wykorzystując warunek uogólnionej pracy dla pierwszej i drugiej zasady termodynamiki dla układu otwartego,
2. Wielkość przyrostu energii wewnętrznej powierzchni gumy zależy przede wszystkim od rodzaju zastosowanego kauczuku w mieszance gumowej; największą wartość wykazuje guma akrylowa ACM, porównywalne wartości stwierdzono dla mieszanek fluorowej i nitylowej,
3. Wraz ze wzrostem obciążenia wzrasta energia wewnętrzna powierzchni gumy. Wynika to z większego rozciągnięcia warstwy wierzchniej powierzchni gumy wraz ze wzrostem obciążenia,
4. Dla gum nitylowej NBR, fluorowej FPM i akrylowej ACM wraz ze wzrostem twardości przyrost energii wewnętrznej maleje. Dla badanych mieszanek wpływ na wielkość przyrostu energii wewnętrznej powierzchni gumy ma jej twardość.

LITERATURA

- [1] Solski P., Ziemia S. *Zagadnienia tarcia suchego*, Warszawa 1965,
- [2] Syczew W. W. *Termodynamika procesów złożonych*, PWN, Warszawa, 1973,
- [3] Burcan J. *Tarcie wiertne, smarowanie smarami magnetycznie aktywnymi z dodatkami uszlechaczącymi*”, *Tribologia*, nr 4/1995, s. 588-592,
- [4] Sadowski J. *Termodynamiczna interpretacja tarcia i zużycia*, Politechnika Radomska, Radom, 1999,
- [5] Rogula J. *Składowa adhezyjna współczynnik tarcia jako parametr stanu energetycznego powierzchni*, Rozprawa doktorska, Wrocław 2002.

Increment internal energy of the rubber during friction process

Summary

This paper presents thermodynamic analysis of the transition process the rest to the motion between the rubber and a steel. Treating friction process as an elementary phenomenon made possible to exhibit an adhesion occurring between sliding surfaces. Adhesion between the rubber sample and smooth steel ball renders an extension of the external layer of the rubber until breaking adhesion bonds. The use of this model made easy an analysis of the rubber extension on the increment of the inert energy of the external layer. Basing on I and II principle thermodynamics it was possible to derive an equation for sliding pair rubber - steel ball making easy calculation the increment of the external layer of the rubber. The calculations were verified by the measurement of this increment on the test rig.