

Poznajemy właściwości tarcia. Część II: Wyznaczamy współczynniki tarcia

Stanisław *BEDNAREK*

Kontynuujemy doświadczenia dotyczące tarcia. Ich główny cel to wyznaczenie współczynnika tarcia dla różnych materiałów. Poznamy również dodatkowe czynniki, od których zależy siła tarcia. Do naszych doświadczeń użyjemy opisanego w poprzednim artykule siłomierza. Potrzebne nam będą także: płaska, sztywna płytką z dowolnego materiału o rozmiarach około 50×15 cm, kilka książek lub grubszych zeszytów do podparcia płytki, arkusz papieru ściernego, kawałek tkaniny o rozmiarach zbliżonych do papieru ściernego, kilka okrągłych ołówków lub kredek, olej, duży arkusz folii lub ceraty, taśma klejąca oraz dostęp do tablic matematyczno-fizycznych.

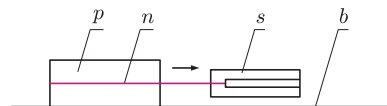
Na początek powtórzmy doświadczenie z poprzedniego artykułu, w którym badaliśmy zależność siły tarcia od wielkości powierzchni przy użyciu jednego kartonika wypełnionego piaskiem (rys. 1). Zmierzymy wartość siły tarcia tego kartonika o powierzchnię stołu. Wiemy już, że nie zależy ona od wielkości trących się powierzchni, a więc kartonik możemy położyć na dowolnej ściance. Zapiśzemy otrzymany wynik pomiaru. Wiemy także, iż wartość siły tarcia jest wprost proporcjonalna do wartości siły nacisku. Dlatego można wprowadzić bardziej uniwersalną wielkość fizyczną charakteryzującą tarcie, która będzie zależna tylko od rodzaju trących się powierzchni. Tą wielkością jest współczynnik tarcia. Wyraża się on następującym wzorem:

$$(1) \quad f = \frac{T}{N}.$$

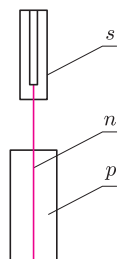
We wzorze (1) f oznacza współczynnik tarcia, T – wartość siły tarcia \mathbf{T} , a N – wartość siły nacisku. Wartość siły tarcia już znamy. Wartość siły nacisku kartonika na stół jest równa ciężarowi kartonika. Żeby wyznaczyć ten ciężar, przywiązujemy kartonik do wolnego końca gumki naszego siłomierza trzymanego w pozycji pionowej i odczytujemy jego wskazanie (rys. 2). Następnie podstawiamy obie wartości do wzoru (1) i obliczamy ich iloraz. Jeżeli mamy obszerne tablice matematyczno-fizyczne lub fizyczne, to możemy spróbować porównać otrzymany wynik z wartością podaną w tablicach dla pary trących się materiałów: papier i drewno. Wartość tablicowa może jednak różnić się dość znacznie od otrzymanego przez nas wyniku, ponieważ są różne rodzaje papieru i różne gatunki drewna o różnym sposobie wykończenia, a więc i różnych gładkościach powierzchni.

Powyższe doświadczenie i obliczenia warto powtórzyć dla innych kombinacji trących się powierzchni. W tym celu zmierzmy siłę tarcia kartonika przesuwanego, na przykład, po papierze ściernym oraz po tkaninie, które mocujemy taśmą klejącą do powierzchni stołu przykrytego folią lub ceratą. Na pewno dla kombinacji kartonik–papier ścierny otrzymamy większą wartość współczynnika tarcia. Warto tutaj dodać, że podawane w tablicach wartości współczynników tarcia podczas przesuwania ciał zawierają się w granicach od około 0,01 do 100. Najmniejszą wartość współczynnika tarcia wykazuje stop boru, glinu i magnezu, tylko 0,02. Stal przesuwana po lodzie ma współczynnik tarcia około 0,14. Większe wartości współczynników tarcia występują podczas przesuwania cegły po cegle i betonu po betonie (ok. 0,65). Dla przesuwania gumy po betonie współczynnik tarcia wynosi około 1,5. O największych wartościach współczynnika tarcia, dochodzących do 100, napiszemy więcej za miesiąc.

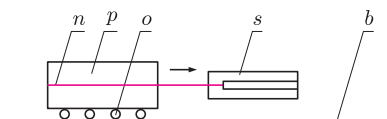
Dotychczas zajmowaliśmy się tzw. tarcie suchym, czyli takim, w przypadku którego między trącymi się powierzchniami nie ma cieczy. Możemy posmarować olejem powierzchnię folii lub ceraty przykrywającej stół i przesuwać po niej kartonik, mierząc wartość siły tarcia. Po wykonaniu obliczeń dla tej sytuacji otrzymamy zapewne mniejszą wartość współczynnika tarcia niż dla tarcia suchego.



Rys. 1. Układ do wyznaczenia siły tarcia kartonika od napojów o stół; s – siłomierz, p – kartonik wypełniony piaskiem, n – nitka, b – powierzchnia stołu.



Rys. 2. Sposób wyznaczenia ciężaru kartonika od napojów; s – siłomierz, p – kartonik wypełniony piaskiem, n – nitka.



Rys. 3. Układ do badania tarcia tocznego; p – kartonik od napojów wypełniony piaskiem, n – nić, o – okrągły ołówek lub kredek, s – siłomierz, b – powierzchnia stołu.



Badany w tym doświadczeniu rodzaj tarcia, w którym między trącymi się powierzchniami znajduje się ciecz, nazywany jest tarciem mokrym albo tarciem ze smarowaniem. Smarowanie jest jednym ze sposobów zmniejszania tarcia. Sposób ten znany był już w starożytnym Egipcie, gdzie podczas transportu ciężkich bloków skalnych, używanych do budowy piramid, wylewano olej pod płozy sań, na których znajdowały się bloki. Dziś różnego rodzaju oleje i smary używane są powszechnie.

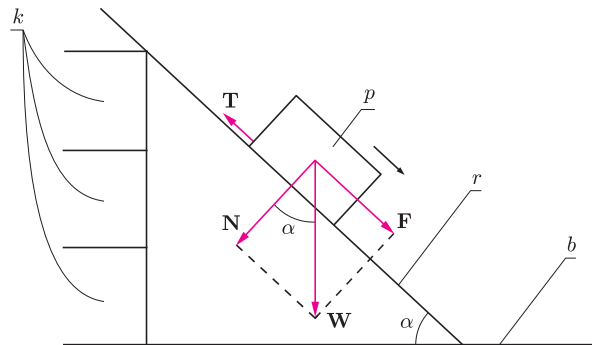
W naszych dotychczasowych doświadczeniach dotyczących tarcia jedno ciało przesuwało się po drugim. W takich przypadkach mówimy o tarcu posuwistym albo, rzadziej, suwliwym. Często jednak występują takie sytuacje, w których jedno ciało toczy się po drugim. Wtedy również ma miejsce tarcie i nazywa się ono tarciem tocznym. Tarcie toczne możemy zbadać w układzie przedstawionym na rysunku 3. W tym celu na stole układamy w odstępach 1–2 cm kilka okrągłych ołówków lub kredek, a na nich kładziemy kartonik, który ciągniemy za pomocą siłomierza z przywiązaną nitką.

Mierzmy wartość siły tarcia tocznego i zapisujemy wynik. Wartość siły nacisku w tym przypadku jest także równa ciężarowi kartonika i poprzednio już ją zmierzaliśmy. Obliczamy iloraz wartości tych sił i otrzymujemy wartość współczynnika tarcia tocznego. Jaka jest ta wartość w porównaniu z obliczoną poprzednio wartością współczynnika tarcia posuwistego kartonika po czystej powierzchni stołu? Zapewne dla tarcia tocznego ta wartość jest mniejsza. Dlatego też dla zmniejszenia strat energii w wyniku tarcia stosuje się różnego rodzaju łożyska toczne, np. kulkowe lub wałeczkowe, w których tarcie posuwiste zastąpiono tarciem tocznym. Żeby jeszcze bardziej zmniejszyć tarcie i zapobiec szybkiemu zużywaniu trących się elementów, łożyska te są smarowane. W naszym układzie doświadczalnym możemy wyznaczyć współczynnik tarcia tocznego ze smarowaniem, wykonując poprzednio opisane doświadczenie na kawałku powierzchni stołu posmarowanej olejem. Wartości współczynników tarcia tocznego są znacznie mniejsze niż tarcia poślizgowego. W sprzyjających warunkach, np. podczas toczenia się kulki stalowej po smarowanej powierzchni stalowej, współczynnik tarcia tocznego może wynosić tylko 0,00001.

Nasze dotychczasowe doświadczenia dotyczyły tarcia podczas ruchu ciał. Takie tarcie nazywa się tarciem kinetycznym, ale, jak już wspomniano w poprzednim artykule, tarcie występuje również między spoczywającymi ciałami. Tarcie to nazywane jest tarciem spoczynkowym lub statycznym. Zajmiemy się teraz wyznaczeniem współczynnika tego tarcia. W tym celu skorzystamy z płaszczyzny nachylonej pod pewnym kątem do poziomu, nazywanej w fizyce równią pochyłą (rys. 4). Płaską i sztywną płytkę kładziemy na stole, a na niej w pobliżu krótszego boku umieszczamy kartonik od napojów wypełniony piaskiem.

Powoli podnosimy krótszy bok płytki, czyli równi pochyłej, po stronie leżącego kartonika i obserwujemy jego zachowanie. Stwierdzamy, że przy odpowiednio

małym kącie nachylenia równi α kartonik pozostaje w spoczynku. Jeżeli jednak zwiększymy ten kąt powyżej wartości granicznej α_g , to kartonik zacznie się zsuwać. Właśnie ten graniczny kąt nachylenia równi pochyłej odpowiada maksymalnej wartości siły tarcia statycznego. Ustalamy maksymalne nachylenie równi, przy którym kartonik jeszcze się nie zsuwa, przez podłożenie odpowiednio grubego stosu książek lub zeszytów. Mierzmy linijką odległość górnego brzegu równi od stołu oraz odległość w poziomie między górnym i dolnym brzegiem równi. Stosunek tych dwóch wielkości jest tangensem granicznego kąta nachylenia α_g .



Rys. 4. Układ do badania tarcia przy użyciu równi pochyłej; p – kartonik od napojów wypełniony piaskiem, r – równia pochyła, b – powierzchnia stołu, k – książka, \mathbf{W} – ciężar kartonika, \mathbf{N} – siła nacisku kartonika na równię, \mathbf{F} – siła ściągnięcia kartonika z równi, \mathbf{T} – siła tarcia, α – kąt nachylenia równi.

W celu wyprowadzenia wzoru na współczynnik tarcia ciała umieszczonego na równi pochyłej rozłożmy ciężar kartonika \mathbf{W} na składową prostopadłą do równi, czyli siłę nacisku \mathbf{N} ($N = W \cos \alpha$), oraz składową równoległą do równi \mathbf{F} ($F = W \sin \alpha$), która dąży do ściągnięcia kartonika w dół. Wykorzystajmy definicję współczynnika tarcia (1) dla $F = T$, co pozwoli nam obliczyć współczynnik tarcia statycznego f_s dla ciała leżącego na równi pochyłej:

$$(2) \quad f_s = \operatorname{tg} \alpha_g.$$

Warto również położyć płytkę poziomo na stole i w poprzednio opisany sposób wyznaczyć dla pary materiałów płytka-kartonik współczynnik tarcia kinetycznego, którego wartość jest nieco mniejsza od wartości współczynnika tarcia statycznego. Wskutek niewielkiej dokładności naszego siłomierza różnica ta może być jednak trudna do wykrycia. Dlatego dla zwiększenia dokładności należy kilka razy powtórzyć pomiary w obu doświadczeniach i obliczyć wartości średnie. Możemy także posmarować płytkę olejem i spróbować wyznaczyć współczynniki tarcia statycznego i kinetycznego ze smarowaniem.