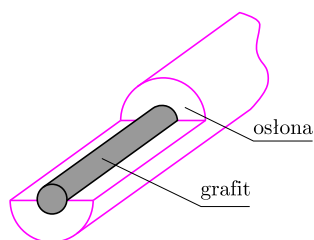


Budujemy tensometr oporowy

Stanisław BEDNAREK*

Tensometry oporowe są to czujniki, które umożliwiają pomiary naprężenia lub wydłużenia ciała. Pomiary te przeprowadza się na podstawie zmian oporu elektrycznego przewodnika podlegającego odkształceniom wraz z ciałem. Badania różnych części maszyn i materiałów przy użyciu tensometrów oporowych mają ważne znaczenie praktyczne i szerokie zastosowanie w technice. Dlatego też warto zapoznać się z zasadą działania tensometru oporowego. Od pewnego czasu w sklepach z materiałami piśmiennymi można spotkać interesujący przedmiot – giętki ołówek (cena ok. 1 zł). Nadaje się on do pisania, jak zwykle ołówki, a ponadto może być na różne sposoby odkształcany. Zdolność do odkształceń giętkiego ołówka jest tak duża, że można na nim nawet zawiązać supeł. Okazuje się, że taki ołówek również dobrze nadaje się do pokazania zasady działania tensometru oporowego.



Rys. 1. Przygotowanie końcówek giętkiego ołówka.

*Instytut Fizyki, Uniwersytet Łódzki

Wspomniane ołówki składają się z giętkiej plastikowej osłony, w której umieszczony został również giętki grafit, stanowiący element piszący. Grafit ten w rzeczywistości jest materiałem kompozytowym wykonanym z proszku grafitowego i substancji wiążącej. Oporność elektryczna takiego grafitu w typowym ołówku o długości 30 cm wynosi zwykle kilkanaście kiloomów.

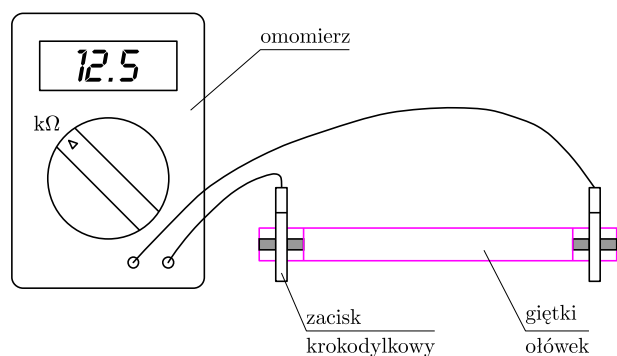
Pierwszym etapem pracy przy budowie tensometru jest przygotowanie końcówek ołówka. W tym celu usuwamy gumkę do ścierania i metalową tulejkę z jednego końca ołówka, a z drugiego odcinamy zatemperowaną stożkową część. Następnie z obu końców ścinamy do połowy osłonę na długości około 1 cm w sposób pokazany na rysunku 1. Takie przygotowanie końców ołówka pozwoli na ich połączenie za pomocą zacisków krokodylkowych z omomierzem (rys. 2).

Jako omomierz wykorzystamy cyfrowy lub analogowy miernik uniwersalny, którego przełącznik rodzaju pomiaru ustawiamy na pomiar oporności elektrycznej. Mierniki cyfrowe w ostatnim czasie bardzo potaniały i można je coraz częściej spotkać w domowych warsztatach. Jeżeli nie znajdziemy takiego miernika w domu, to pozostaje nam skorzystanie z omomierza w szkolnej pracowni fizycznej. Po połączeniu ołówka z omomierzem możemy zmierzyć oporność grafitu.

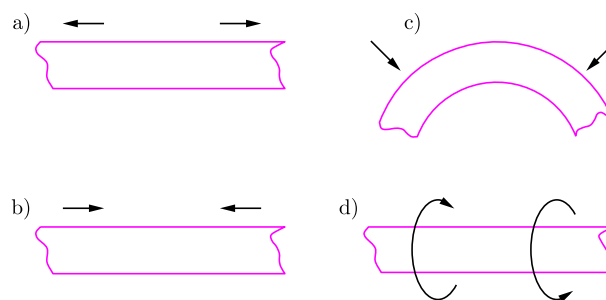
Na początku mierzymy oporność grafitu w wyprostowanym i niepoddanym naprężeniom ołówka. Następnie ołówek trzymamy rękami w pobliżu jego końców i poddajemy kolejno naprężeniom rozciągającym, ściskającym oraz zginaniu i skręcaniu (rys. 3). Okazuje się, że we wszystkich przypadkach odkształceń, oprócz ściskania, omomierz wskazuje

wzrost oporności elektrycznej grafitu o kilka do kilkunastu kiloomów. W przypadku ściskania następuje zmniejszenie oporności elektrycznej grafitu. Okazuje się również, że zmiany oporności elektrycznej wzrastają wraz ze zwiększeniem naprężenia lub odkształcenia, a po ustąpieniu sił działających na ołówek i jego wyprostowaniu oporność grafitu wraca do wartości początkowej. W ten sposób możemy jakościowo poznać działanie tensometru oporowego.

Układ do doświadczenia ilościowego z giętkim ołówkiem jako tensometrem oporowym poddanym rozciąganiu przedstawia rysunek 4. Końce giętkiego ołówka przygotowane są w taki sam sposób jak poprzednio. Ołówek poniżej górnego końca zamocowany jest do statywu lub solidnie przytwierdzonego poziomego pręta. Natomiast powyżej dolnego końca ołówka przymocowana jest do niego szalka na odważniki.

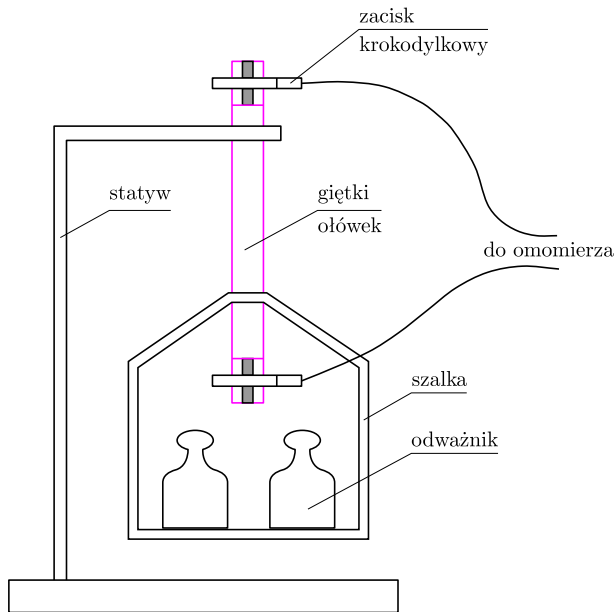


Rys. 2. Połączenie giętkiego ołówka z omomierzem.



Rys. 3. Odkształcenia giętkiego ołówka: a) rozciąganie, b) ściskanie, c) zginanie, d) skręcanie.

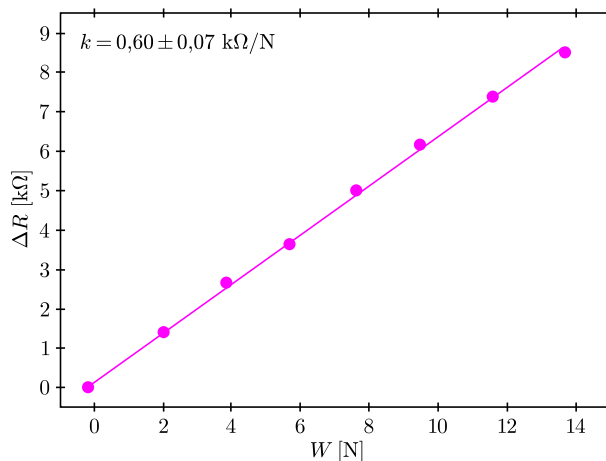
Szalę taką przy odrobinie pomysłowości można sporządzić z niewielkiej sztywnej płytki i kawałka drutu. W przeprowadzonym doświadczeniu do zamocowania ołówka wykorzystano niewielkie zaciski śrubowe od statywów. Oba końce ołówka połączone są za pomocą zacisków krokodylkowych z omomierzem w taki sam sposób jak poprzednio.



Rys. 4. Układ do badań ilościowych z wykorzystaniem giętkiego ołówka jako tensometru oporowego poddanego naprężeniom rozciągającym.

Wykonując doświadczenie, mierzymy najpierw oporność elektryczną giętkiego ołówka, kiedy szalka jest pusta. Ciężar szalki możemy z powodzeniem pominąć. Następnie na szalce umieszczamy kolejno odważniki i po każdej zmianie ich masy odczytujemy oporność giętkiego ołówka. Na podstawie wyników tych pomiarów możemy obliczyć ciężar umieszczonych na szalce odważników W oraz odpowiadający mu przyrost oporności ołówka ΔR . Ciężar odważników wyrażony w niutonach obliczamy, mnożąc ich masę wyrażoną w kilogramach przez przyspieszenie ziemskie wynoszące $9,81 \text{ m/s}^2$. Obliczone wartości W i ΔR wykorzystujemy do sporządzenia wykresu. Uzyskany w ten sposób w jednym z doświadczeń wykres przedstawia rysunek 5. Jeżeli nie dysponujemy fabrycznie wykonanymi i wycechowanymi odważnikami, to możemy z dobrym skutkiem zastąpić je jednakowymi, dużymi nakrętkami lub śrubami. Masę tych przedmiotów wyznaczamy za pomocą wagi spotykanej w gospodarstwie domowym lub w szkolnej pracowni fizycznej, a następnie obliczamy, jak poprzednio, ich ciężar.

Ponieważ wykres jest linią prostą przechodzącą przez początek układu współrzędnych, to wartości W i ΔR możemy wykorzystać do obliczenia współczynnika kierunkowego k tej prostej. Współczynnik kierunkowy k stanowi charakterystyczny parametr danego tensometru oporowego. Wartość współczynnika kierunkowego możemy w przybliżeniu wyznaczyć graficznie bezpośrednio z wykresu przedstawionego na rysunku 5.



Rys. 5. Zależność przyrostu oporności giętkiego ołówka ΔR od ciężaru rozciągających go obciążników W , k – współczynnik kierunkowy prostej.

W tym celu należy położyć na kartce z zaznaczonymi punktami linijkę i zmieniać jej położenie w ten sposób, żeby krawędź linijki przechodziła możliwie najbliżej jak największej liczby punktów. Przy tak dobranym położeniu linijki rysujemy odcinek prostej, a następnie obliczamy tangens jego kąta nachylenia, jako stosunek odczytanego z wykresu przyrostu oporności do odpowiadającego mu przyrostu ciężaru odważników.

Dokładne obliczenie współczynnika kierunkowego prostej k możemy przeprowadzić metodą najmniejszych kwadratów. Idea tej metody polega na dobraniu takiej prostej, dla której suma kwadratów odległości między punktami uzyskanymi z pomiarów i odpowiednimi punktami przewidywanymi przez równanie tej prostej jest minimalna. Pominiemy tutaj szczegóły przekształceń algebraicznych związane z wyprowadzeniem wzorów na współczynnik k oraz jego niepewność Δk i podamy gotowe wzory zapisane z użyciem wcześniej przyjętych oznaczeń.

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \Delta R_i}{\sum_{i=1}^n W_i^2}, \quad \Delta k = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta R_i - kW_i)^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n W_i^2}}$$

W obu wzorach wskaźnik i numeruje kolejne pomiary, których jest n , a symbol \sum oznacza sumowanie względem wszystkich pomiarów. Dla przedstawionego na rysunku 5 wykresu metodą najmniejszych kwadratów obliczono wartość współczynnika kierunkowego $k = 0,60 \pm 0,07 \text{ k}\Omega/\text{N}$.

Na koniec ważna uwaga. W doświadczeniu nie należy używać odważników o zbyt dużej masie. Wystarczy kilka odważników o masie 100–200 g każdy, mających łączny ciężar w granicach kilkunastu niutonów. Zastosowanie odważników o zbyt dużej masie może spowodować wejście w zakres nieliniowej zależności ΔR od W oraz pozostanie trwałego wzrostu oporu elektrycznego po usunięciu odważników. Nasz tensometr wykazywałby wówczas nieliniowość i histerezę.