

DEFORMAÇÃO INELÁSTICA E PROCESSO IRREVERSÍVEL

INTRODUÇÃO

Duas características observadas no comportamento elástico de um sólido são a linearidade e a reversibilidade. A linearidade relaciona-se à proporcionalidade entre a força aplicada ao sólido e a consequente deformação deste. A reversibilidade significa que, aplicando-se uma força crescente e, em seguida, decrescente em um sólido, este se alonga e, depois, volta à situação inicial pelo mesmo caminho, isto é, por uma mesma curva em um gráfico de força *versus* alongamento. Do ponto de vista das energias envolvidas, em um processo reversível, o sólido, ao retornar ao seu estado inicial, realiza sobre o agente aplicador da força o mesmo trabalho que este realizou sobre ele para alongá-lo.

Existem sistemas que não apresentam essas características; em alguns casos, a dependência entre força e alongamento pode, até mesmo, não ter uma expressão analítica, podendo ser conhecida apenas experimentalmente. O trabalho realizado nesses sistemas, além de produzir deformações mecânicas, é utilizado para promover reações químicas, modificações estruturais, transformações moleculares e aquecimento, entre outros. Assim, não é possível ao sistema devolver toda a energia cedida ao agente aplicador da força e o processo de deformação é irreversível.

Um exemplo simples de uma situação desse tipo ocorre com uma gominha de borracha ao ser esticada. Nesse caso, observa-se uma não-linearidade entre a força aplicada e o alongamento produzido e, também, uma irreversibilidade do processo.

PARTE EXPERIMENTAL

Objetivo

- Estudar a deformação produzida em gominhas de borracha.

Material utilizado

- Duas gominhas de borracha, base, haste de sustentação, régua milimetrada, suporte e objetos com massas de, aproximadamente, 50 g.

Procedimento

Alongamento de uma gominha em função do tempo

Pendure uma gominha na haste de sustentação e coloque, na extremidade oposta, o suporte para os objetos, como mostrado na Fig. 1.

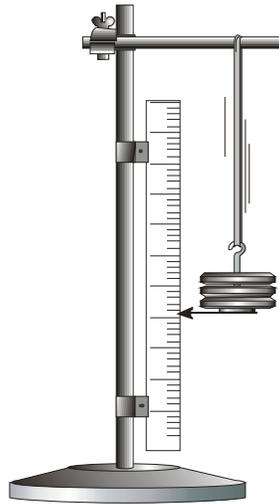


Figura 1 - Objetos de massas conhecidas são pendurados na extremidade de uma gominha

Nesta primeira parte, aplica-se uma força constante em uma das gominhas e são feitas medidas de seu alongamento em função do tempo.

- Coloque um objeto de, aproximadamente, 500 g no suporte, segurando-o para que a gominha não se estique. Deixe que o suporte desça lentamente até ele se equilibrar sozinho, e faça, imediatamente, a leitura do comprimento inicial y_0 da gominha, nessas condições. Nesse momento, dispare o cronômetro. Faça leituras do comprimento y da gominha, a cada 20 s, até 180 s.
- Esboce do gráfico do alongamento $\Delta y = y - y_0$ da gominha em função do tempo.

Alongamento da gominha em função da força aplicada durante a carga e a descarga

- Agora, utilizando a outra gominha, faça medidas de seu alongamento Δy em função da força aplicada. Observando o gráfico obtido na etapa anterior, estime o tempo que se deve aguardar

entre o instante em que cada objeto é colocado no suporte e a leitura do alongamento correspondente. (Observação: ao acrescentar os objetos, segure o suporte para evitar que a gominha oscile e relaxe.) Para fazer as medidas, acrescente os objetos, um a um, até atingir a carga máxima de 700 g.

- Inicie, então, o processo de descarga, retirando os objetos, um a um, e medindo o alongamento correspondente.
 - √ Responda se no processo de descarga, há necessidade de aguardar algum tempo entre a retirada de um objeto e a leitura do alongamento.
- Faça o gráfico da força aplicada em função do alongamento da gominha para os processos de carga e descarga. Observe o gráfico e comente o resultado em termos de linearidade e reversibilidade.

O trabalho de uma força F aplicada na direção do deslocamento x de um corpo é dado por

$$W = \int F dx .$$

Assim, os valores do trabalho da força sobre a gominha, durante os processos de carga e de descarga, podem ser determinados calculando-se as áreas sob as curvas no gráfico F versus Δy .

- Calcule o trabalho líquido realizado depois de um ciclo de carga e descarga e dê uma interpretação física para ele. Considerando a precisão que se pode ter nas medidas de força e alongamento, estime a incerteza no valor do trabalho.
- Compare o valor encontrado para o trabalho com o valor de trabalho e/ou energia envolvidos em algum fenômeno de seu conhecimento.

QUESTÃO

A gominha de borracha é constituída por um conjunto de cadeias poliméricas com uma estrutura fibrilar central e ramificações laterais. O fato de o trabalho total realizado no ciclo ser diferente de zero, deve-se à ruptura de ligações químicas entre as cadeias de moléculas da gominha no processo de carga; ao se reverter esse processo, fazendo-se a descarga, as ligações não se refazem. Pode-se estimar a energia necessária para romper uma dessas ligações como se segue.

O material da gominha tem ponto de fusão em temperaturas de ~ 400 K (~ 130 °C). A essa temperatura, a energia cinética média por grau de liberdade é de $(1/2) kT$, em que k é a constante de

Boltzmann ($k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$) e T é a temperatura em Kelvin. Essa energia cinética média é da mesma ordem de grandeza da energia necessária para romper uma ligação química entre as cadeias do polímero que constitui a gominha.

Partindo desse raciocínio, estime o número de ligações químicas que foram rompidas na gominha, neste experimento. Compare o resultado com o número de Avogrado N_A ($6,02 \times 10^{23} / \text{mol}$).