

DẼO (Cơ-Lý) (plasticity)

Trong Cơ-Lý và vật liệu, tính dẻo, còn được gọi là biến dạng dẻo, là khả năng của vật liệu rắn biến dạng hẳn, một sự thay đổi hình dạng không thể đảo ngược do các lực áp dụng. Ví dụ, một miếng kim loại rắn bị uốn cong hoặc đập thành hình dạng mới hiển thị độ dẻo khi những thay đổi không thể đảo ngược xảy ra trong chính vật liệu. Trong kỹ thuật, sự chuyển đổi từ ứng xử đàn hồi sang ứng xử dẻo được gọi là chảy dẻo.

Biến dạng dẻo được quan sát thấy trong hầu hết các vật liệu, đặc biệt là kim loại, đất, đá, bê tông, bột xốp. Tuy nhiên, các cơ chế vật lý gây biến dạng dẻo có thể rất khác nhau. Ở quy mô tinh thể, thể hiện trong kim loại thường là hậu quả của trật khớp. Các khuyết tật như vậy là tương đối hiếm trong hầu hết các vật liệu tinh thể, nhưng có rất nhiều trong một số và một phần cấu trúc tinh thể của chúng; trong những trường hợp như vậy, dẻo tinh thể có thể xảy ra. Trong các vật liệu dòn như đá, bê tông và xương, thể hiện dẻo được gây ra chủ yếu là do trượt tại các vết nứt nhỏ. Trong các vật liệu cấu trúc hạt rỗng như bọt lỏng hoặc mô sinh học, thể hiện dẻo chủ yếu là hậu quả của sự sắp xếp lại các bong bóng hoặc hạt rỗng.

Đối với nhiều kim loại dẻo, tải kéo được áp dụng cho một mẫu sẽ khiến nó ứng xử đàn hồi. Mỗi mức tăng tải dẫn tới một mức tăng dần tỷ lệ tương ứng. Khi tải được gỡ bỏ, mẫu trở về kích thước ban đầu của nó. Tuy nhiên, một khi tải vượt quá ngưỡng - cường độ chảy dẻo - mức dẫn tăng nhanh hơn so với trong vùng đàn hồi; nay khi tải được gỡ bỏ, một phần mức dẫn sẽ vẫn còn lại - đó là phần dẻo.

Tuy nhiên, biến dạng đàn hồi là một xấp xỉ và chất lượng của nó phụ thuộc vào khung thời gian được xem xét và tốc độ tải. Nói chung biến dạng bao gồm cả biến dạng đàn hồi thường được gọi gộp là "biến dạng đàn dẻo".

Dẻo hoàn hảo (lý tưởng) là một đặc tính của vật liệu trải qua biến dạng không thể đảo ngược mà không cần có sự gia tăng ứng suất hoặc tải trọng. Vật liệu dẻo đã được tái bền bởi biến dạng trước đó, chẳng hạn như gia công lạnh, có thể cần các ứng suất ngày càng lớn hơn để biến dạng hơn nữa. Nói chung, biến dạng dẻo cũng phụ thuộc vào tốc độ biến dạng, tức là ứng suất cao hơn thường phải được áp dụng để tăng tốc độ biến dạng. Những vật liệu như vậy được cho là chịu biến dạng nhớt.

Các cơ chế vật lý:

Trong kim loại: Đẻo trong tinh thể kim loại nguyên chất chủ yếu được gây ra bởi hai chế độ biến dạng trong mạng tinh thể: trượt và trượt kết (twinning). Trượt là một biến dạng cắt di chuyển các nguyên tử qua nhiều khoảng cách tương đối so với vị trí ban đầu của chúng. Trượt kết là biến dạng dẻo xảy ra dọc theo hai mặt phẳng do một tập hợp lực tác dụng lên một miếng kim loại nhất định.

Hầu hết các kim loại cho thấy độ dẻo khi nóng nhiều hơn khi lạnh. Chỉ cho thấy đủ độ dẻo ở nhiệt độ phòng, trong khi gang không có đủ độ dẻo cho bất kỳ hành động rèn nào ngay cả khi nóng. Tính chất này có tầm quan trọng trong các quá trình gia công, định hình và đùn đỏi với kim loại. Hầu hết các kim loại được làm dẻo bằng cách nung nóng và sau đó gia công nóng.

Các hệ trượt: Các vật liệu kết tinh chứa các mặt phẳng đồng nhất của các nguyên tử được sắp xếp theo thứ tự tầm xa. Các mặt phẳng có thể trượt qua nhau dọc theo các hướng liên kết chặt của chúng. Kết quả là một sự thay đổi hoàn toàn của hình dạng trong tinh thể và biến dạng dẻo. Sự hiện diện của lệch mạng (trật khớp) làm tăng khả năng dẻo.

Đẻo có thể đảo ngược: Trên cấp độ nano, biến dạng dẻo sơ cấp trong các kim loại khối tâm mặt đơn giản là có thể đảo ngược, miễn là không có sự vận chuyển vật liệu ở dạng trượt chéo.

Dải trượt: Sự hiện diện của các khuyết tật khác trong tinh thể có thể làm vướng víu các lệch mạng hoặc ngăn không cho chúng trượt. Khi điều này xảy ra, dẻo xảy ra cục bộ ở các vùng cụ thể trong vật liệu. Đối với các tinh thể, các vùng dẻo cục bộ này được gọi là các dải trượt.

Đẻo vi mô: là một hiện tượng cục bộ trong kim loại. Nó xảy ra đối với các giá trị ứng suất khi kim loại ở mức độ vĩ mô nằm trong miền đàn hồi nhưng một số khu vực địa phương nằm trong miền dẻo.

Vật liệu vô định hình. Rạn: Trong các vật liệu vô định hình, lập luận về "trật khớp" không thể áp dụng, vì toàn bộ vật liệu thiếu thứ tự tầm xa. Những vật liệu này vẫn có thể trải qua biến dạng dẻo. Vì các vật liệu vô định hình, như nhựa, không được sắp xếp trật tự, chúng chứa một lượng lớn thể tích tự do, hay không gian lãng phí. Kéo các vật liệu này làm mở ra các khu vực này và có thể làm cho vật liệu thể hiện mờ. Thể hiện mờ này là kết

quả của rạn, trong đó các sợi nhỏ được hình thành trong vật liệu ở những vùng có ứng suất căng thủy tĩnh cao. Các vật liệu có thể đi từ một hình thái trật tự đến một hình thái căng và rạn.

Vật liệu xốp (rỗng): Những vật liệu này biến dạng dẻo khi mômen uốn vượt quá mômen dẻo hoàn toàn. Điều này áp dụng cho vật liệu bọt rỗng mở trong đó mômen uốn được tác động lên thành bọt rỗng. Thành bọt rỗng có thể được làm bằng bất kỳ vật liệu nào có điểm hạn dẻo bao gồm nhựa cứng và kim loại. Phương pháp mô hình hóa thành bọt rỗng này như dầm chỉ có giá trị nếu tỷ lệ giữa mật độ của bọt xốp so với mật độ của vật chất nhỏ hơn 0,3. Điều này là do dầm chảy dẻo theo chiều dọc thay vì dẻo uốn cong. Trong bọt xốp kín, cường độ kháng dẻo được tăng lên nếu vật liệu bị kéo do lớp tường màng bị kéo của các bọt rỗng.

Đất và cát: Các loại đất, đặc biệt là đất sét, hiển thị một lượng biến dạng không đàn hồi đáng kể khi chịu tải. Nguyên nhân gây dẻo trong đất có thể khá phức tạp và phụ thuộc nhiều vào cấu trúc vi mô, thành phần hóa học và hàm lượng nước. Ứng xử dẻo trong đất được gây ra chủ yếu bởi sự sắp xếp lại các cụm hạt liền kề.

Đá và bê tông: biến dạng không đàn hồi của đá và bê tông chủ yếu được gây ra bởi sự hình thành của các vết nứt nhỏ và chuyển động trượt trên các vết nứt này. Ở nhiệt độ và áp suất cao, ứng xử dẻo cũng có thể bị ảnh hưởng bởi chuyển động của lệch mạng (trật khớp) trong các hạt riêng lẻ của cấu trúc vi mô.

Các mô tả toán học:

Lý thuyết biến dạng: Có một số mô tả toán học về dẻo. Một là lý thuyết biến dạng (tương ứng với định luật Hooke) trong đó ten xơ ứng suất Cauchy (bậc $d-1$ trong không gian d chiều) là một hàm của ten xơ biến dạng. Mặc dù mô tả này là chính xác khi một phần nhỏ của vật chất chịu tải ngày càng tăng (chẳng hạn như tải kéo), lý thuyết này không thể giải thích cho tính không thể đảo ngược.

Vật liệu dẻo có thể duy trì biến dạng dẻo lớn mà không bị gãy. Tuy nhiên, ngay cả các kim loại dẻo cũng sẽ bị gãy khi biến dạng đủ lớn, điều này là kết quả của quá trình tái bền vật liệu, khiến nó trở nên giòn. Xử lý nhiệt như ủ có thể khôi phục độ dẻo của miếng vật liệu đã gia công, để việc tạo hình có thể tiếp tục.

Lý thuyết chảy dẻo: Năm 1934, Orowan, Polanyi và Taylor, gần như đồng thời, nhận ra rằng biến dạng dẻo của vật liệu dẻo có thể được giải thích theo lý thuyết về lệch mạng (trật khớp). Lý thuyết toán học về dẻo, lý thuyết chảy dẻo, sử dụng một tập hợp các phương trình phi tuyến tính, không thể tích phân để mô tả tập hợp các thay đổi về biến dạng và ứng suất đối với trạng thái trước đó và một gia số biến dạng nhỏ.

Các tiêu chuẩn chảy dẻo: Nếu ứng suất vượt quá giá trị tới hạn, như đã đề cập ở trên, vật liệu sẽ biến dạng dẻo không thể đảo ngược. Ứng suất tới hạn này có thể là bền kéo hoặc nén. Các tiêu chuẩn Tresca và von Mises thường được sử dụng để xác định một vật liệu có chảy dẻo hay không. Tuy nhiên, các tiêu chuẩn dẻo này đã tỏ ra không phù hợp với nhiều loại vật liệu và một số tiêu chuẩn chảy dẻo khác cũng được sử dụng rộng rãi.

Tiêu chuẩn Tresca: Tiêu chuẩn Tresca dựa trên quan niệm rằng khi một vật liệu chảy dẻo, nó sẽ bị cắt, đó là một giả định tương đối tốt khi xem xét kim loại. Với trạng thái ứng suất chính, chúng ta có thể sử dụng vòng tròn Mohr để giải được ứng suất cắt tối đa mà vật liệu của chúng ta sẽ phải chịu và kết luận rằng vật liệu sẽ chảy dẻo nếu

$$\sigma_1 - \sigma_3 \geq \sigma_Y,$$

trong đó σ_1 là ứng suất pháp tối đa, σ_3 là ứng suất pháp tối thiểu và σ_Y là ứng suất mà vật liệu chảy dẻo trong tải đơn phương. Một mặt chảy dẻo có thể được xây dựng, cung cấp một bức tranh trực quan của khái niệm này. Bên trong mặt chảy dẻo, biến dạng là đàn hồi. Trên mặt chảy dẻo, biến dạng là dẻo. Không thể cho một vật liệu trạng thái ứng suất bên ngoài mặt chảy dẻo của nó.

Tiêu chuẩn Huber-Mises: Tiêu chuẩn Huber-Mises dựa trên tiêu chuẩn Tresca nhưng có tính đến giả định rằng ứng suất thủy tĩnh không góp phần vào chảy dẻo vật liệu. Huber là người đầu tiên đề xuất tiêu chuẩn năng lượng cắt. Von Mises giải được một ứng suất hiệu quả khi tải đơn phương, trừ đi các ứng suất thủy tĩnh, và phát biểu rằng tất cả các ứng suất hiệu quả lớn hơn mức gây ra chảy dẻo vật liệu trong tải đơn phương sẽ dẫn đến biến dạng dẻo.

$$\sigma_Y^2 = \frac{1}{2}[(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{11} - \sigma_{33})^2 + 6(\sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2 + \sigma_{12}^2)].$$

Một lần nữa, một biểu diễn trực quan của mặt chảy dẻo có thể được xây dựng bằng phương trình trên. Bên trong bề mặt chảy dẻo, vật liệu biến dạng đàn hồi. Tiếp cận bề mặt có nghĩa là vật liệu sẽ biến dạng dẻo.

PHẠM ĐỨC CHÍNH

Tài liệu tham khảo

1. D. Bigoni, *Nonlinear Solid Mechanics: Bifurcation Theory and Material Instability*, Cambridge University Press, Cambridge, 2012.
2. W.-F. Chen, *Limit Analysis and Soil Plasticity*, J. Ross Publishing, US, 2008.
3. M. Jirasek, Z. P. Bazant, *Inelastic analysis of structures*, John Wiley and Sons, US, 2002.
4. J. Lubliner, *Plasticity theory*, Dover, New York, 2008.
5. M.-H. Yu, G.-W. Ma, H.-F. Qiang, Y.-Q. Zhang, *Generalized Plasticity*, Springer, Heidelberg, 2006.