

NGHIÊN CỨU SỰ PHÁ HOẠI CỦA VẬT LIỆU COMPOSITES DẠNG SỢI BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH ẢNH CHỤP CẮT LỚP

ThS. **NGUYỄN XUÂN ĐẠI**, KS. **TRẦN VĂN CƯỜNG**
Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt: Nghiên cứu ứng xử của cấu trúc vật liệu ở trạng thái vi mô có vai trò quan trọng trong khoa học vật liệu, đặc biệt là với các dạng vật liệu tổng hợp. Phương pháp chụp ảnh cắt lớp đang được ứng dụng rộng rãi trong phân tích cấu trúc của kết cấu, vật liệu nhờ khả năng quan sát cấu trúc bên trong của mẫu vật liệu. Bài báo nghiên cứu áp dụng phương pháp phân tích ảnh chụp cắt lớp để xây dựng lại mô hình 3D của mẫu thử, quan sát sự thay đổi về cấu trúc nhằm nghiên cứu cơ chế phá hoại của mẫu composite sợi ceramic dưới tác dụng của lực kéo dọc trục.

1. Đặt vấn đề

Các nội dung nghiên cứu về vi cấu trúc, ứng xử của cấu trúc vật liệu dưới tác dụng của các nguyên nhân bên ngoài: nhiệt độ, tải trọng, ... đã thu hút được sự quan tâm nghiên cứu của nhiều nhà khoa học trên thế giới. Các kết quả nghiên cứu trên đã chứng minh được thành phần cấu trúc của vật liệu có ảnh hưởng rất lớn đến tính chất của vật liệu.

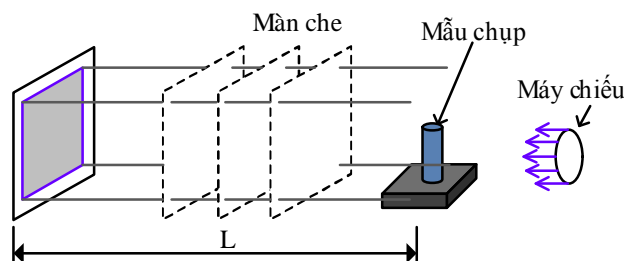
Các phương pháp nghiên cứu vi cấu trúc của vật liệu dưới dạng quan sát thông thường còn nhiều hạn chế như chỉ quan sát được bề mặt (dạng 2 chiều – 2D) mà không quan sát được cấu trúc bên trong của kết cấu (dạng 3 chiều – 3D). Do đó, với các phương pháp nghiên cứu quan sát thông thường, việc phân tích cấu trúc bên trong gặp nhiều khó khăn.

Phương pháp chụp ảnh cắt lớp hiện nay được áp dụng rộng rãi trong lĩnh vực khoa học vật liệu và kết cấu, đặc biệt là trong phương pháp kiểm tra không phá hủy, nhằm quan sát cấu trúc bên trong của mẫu vật liệu nghiên cứu. Nguyên lý của phương pháp này là dựa vào khả năng đâm xuyên của các tia phóng xạ qua mẫu thử cho phép ta quan sát được cấu trúc bên trong của mẫu. Các ảnh thu được từ chụp cắt lớp thông thường dưới dạng 2D. Tập hợp các ảnh trích xuất theo chiều sâu của mẫu thử trong quá trình chụp ảnh cắt lớp dưới dạng 2D cho phép ta nghiên cứu cấu trúc mẫu dưới dạng 3D.

Trong phạm vi của bài báo, tác giả đưa ra một số nội dung tổng quan của phương pháp nghiên cứu cấu trúc kết cấu từ phân tích ảnh chụp cắt lớp và phương pháp xây dựng mô hình 3D từ các ảnh chụp cắt lớp. Ví dụ ứng dụng trong nghiên cứu cơ chế phá hoại của vật liệu composite dạng sợi ceramic.

2. Chụp ảnh cắt lớp

Nguyên lý chụp ảnh cắt lớp: sử dụng ống phóng tia bức xạ (tia X) chiếu qua mẫu chụp, ảnh của phép chụp được thu trên màn che có khoảng cách nhất định L với mẫu chụp. Khi đi qua mẫu, năng lượng chùm tia X bị suy yếu, mức độ suy giảm năng lượng của tia X phụ thuộc vào loại vật liệu, mật độ vật liệu và chiều dày các lớp vật liệu mà tia X xuyên qua.



Hình 1. Nguyên lý chụp ảnh cắt lớp

Sau khi đi qua các lớp vật liệu, ảnh thu được trên màn che là các ảnh đen trắng với thang màu ghi, cường độ màu ghi trên ảnh thu được có giá trị nằm trong khoảng 0-255 tương ứng với các pha màu trên ảnh thay đổi từ đen – trắng. Sự thay đổi cường độ

màu ghi trên ảnh thu được phụ thuộc vào cường độ tia X thu được trên màn che sau khi xuyên qua mẫu thử. Nghĩa là, sau khi xuyên qua mẫu chụp, năng lượng tia bức xạ bị tổn thất trong quá trình đâm xuyên qua cấu trúc mẫu. Sự thay đổi năng lượng tia X được

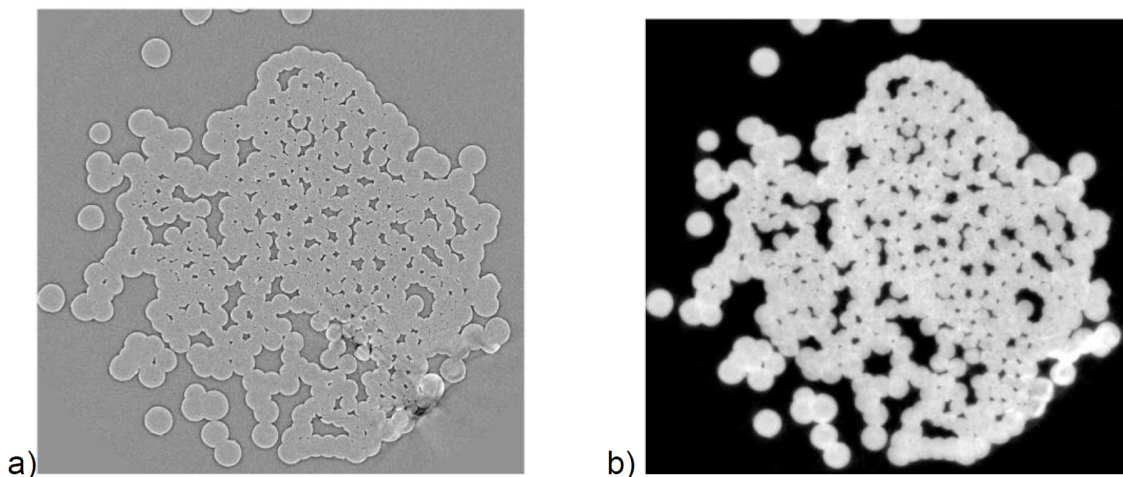
phản ánh qua cường độ màu ghi thu được trên màn che. Do đó, ảnh thu được trên màn che phản ánh cấu trúc của vùng vật liệu mà tia X xuyên qua.

Hiện nay, có 2 phương pháp chụp ảnh cắt lớp thường gặp là chụp ảnh cắt lớp thông thường và chụp ảnh giao thoa cắt lớp.

- Trong phương pháp chụp ảnh cắt lớp thông thường (tomography), sự tương phản giữa các pha vật liệu thể hiện dựa trên cường độ màu ghi thu được trong ảnh. Trên thực tế, năng lượng tia X bị tiêu hao không chỉ do cấu trúc vật liệu, mà còn bị ảnh hưởng bởi các pha của sóng bức xạ [4]. Do đó, giá trị cường độ màu ghi trên ảnh chụp theo phương pháp này thường chênh lệch nhau không lớn (hình 2a). Phương pháp này còn nhiều hạn chế, với các loại vật liệu không đồng nhất và khoảng cách giữa mẫu chụp với màn chiếu khá xa thì trên các ảnh chụp thu được,

sự tương phản giữa các pha thường là gam màu ghi không phân biệt rõ nét, xuất hiện các vân nhiễu xạ, do đó việc xác định các thuật toán để loại bỏ các vân nhiễu xạ gặp nhiều khó khăn và không triệt để.

- Phương pháp chụp ảnh giao thoa cắt lớp (holotomography) sử dụng kết hợp nhiều khoảng cách và phối hợp giữa các pha sóng bức xạ trong kỹ thuật phân pha của công nghệ chụp ảnh nên thể hiện rất tốt sự tương phản giữa các pha, hạn chế được các vân nhiễu xạ [4]. Hình ảnh thu được của phương pháp này thể hiện trên 2 gam màu chủ đạo là đen và trắng (hình 2b). Nhờ sự tương phản này, các phép lọc được xác định dễ dàng và triệt để hơn. Kỹ thuật chụp ảnh giao thoa cắt lớp đặc biệt có hiệu quả đối với các dạng vật liệu có sự thay đổi nhỏ về cấu trúc. Phương pháp này được ứng dụng rộng rãi trong phương pháp xây dựng lại mô hình 3D từ các ảnh chụp cắt lớp của các mẫu chụp.



Hình 2. a) Ảnh chụp cắt lớp thông thường; b) Ảnh chụp giao thoa cắt lớp

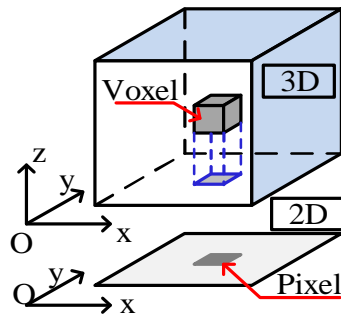
Tính chất ảnh chụp cắt lớp dưới dạng 2D: ảnh chụp thu được đều có thang màu ghi, mỗi đơn vị điểm ảnh (pixel) sẽ có 1 giá trị màu ghi nằm trong khoảng từ 0 – 255. Tùy theo mật độ cấu trúc khác nhau trên từng vị trí mẫu thử, tốc độ thay đổi cấu trúc trong quá trình chịu tác dụng của các nguyên nhân bên ngoài mà màu ghi trên ảnh thu được sẽ khác nhau về cường độ và sự thay đổi cường độ màu. Tính chất này là cơ sở để phân tích cấu trúc vật liệu trên ảnh. Sự tương phản giữa các pha phụ thuộc chủ yếu vào mật độ cấu trúc của mẫu. Ngoài ra còn tồn tại các nguyên nhân khách quan dẫn đến hiện tượng nhiễu xạ trong quá trình chụp ảnh làm ảnh hưởng đến sự tương phản này như: khoảng cách từ mẫu chụp đến màn chiếu, môi trường, công nghệ,...

3. Xây dựng mô hình 3D từ các trích xuất ảnh chụp cắt lớp 2D

Theo phân tích ở trên, cơ sở của các phương pháp phân tích ảnh chụp cắt lớp dựa trên sự khác nhau về cường độ màu ghi giữa các pha vật liệu trên hình ảnh. Các thuật toán để xác định đối tượng nghiên cứu thường dựa vào sự thay đổi về cường độ và tốc độ thay đổi màu ghi giữa các pha trên ảnh 2D. Nội dung phân tích xuất phát từ việc phân tích ảnh 2D. Kết quả phân tích ảnh cho phép xác định được các đối tượng nghiên cứu trên mỗi pixel (đơn vị điểm ảnh cơ sở) của hình ảnh 2D, từ đó xây dựng các phép lọc đối tượng theo chiều sâu của mẫu chụp theo phương pháp đâm xuyên của tia X trên các điểm ảnh cơ sở để xác định đối tượng nghiên cứu theo phương pháp

lại. Việc phân tích đó cho phép chúng ta xây dựng được mô hình 3D của mẫu thí nghiệm.

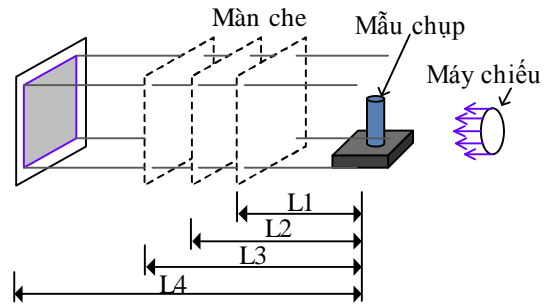
Giả sử ảnh 2D nghiên cứu được đặt trong mặt phẳng xOy, mỗi điểm ảnh trong mặt phẳng này gọi là 1 pixel và có một giá trị cường độ màu ghi, phản ánh tính chất của cấu trúc vật liệu mà tia X đi qua. Tập hợp các ảnh trích xuất theo chiều dày của mẫu dưới dạng 2D được xếp chồng lên nhau (theo trục Oz) sẽ cho ta dạng hình ảnh 3D (hình 3). Theo trục Oz, mỗi ảnh 2D xếp chồng tương ứng với một đơn vị pixel. Vì vậy, hình ảnh 3D thực chất là các ảnh 2D có độ dày 1 pixel xếp chồng lên nhau. Đơn vị điểm ảnh của hình ảnh 3D được gọi là Voxel. Tương tự như trong hình ảnh 2D, mỗi Voxel trong hình ảnh 3D sẽ tồn tại một giá trị cường độ màu ghi.



Hình 3. Đơn vị điểm ảnh trong ảnh 3 chiều

- Phương pháp lọc các vân nhiễu xạ xuất hiện do ảnh hưởng của các pha sóng bức xạ: Vì ảnh thu được trên màn chiếu được đặt ở vị trí có khoảng cách nhất định đối với mẫu chụp, nên với mỗi vị trí màn chiếu khác nhau, hình ảnh thu được sẽ có mức độ suy giảm năng lượng tia X khác nhau, điều này gây ra chất lượng hình ảnh thu được sẽ khác nhau. Việc loại bỏ các vân nhiễu xạ này có thể áp dụng phương pháp giá trị trung bình bằng cách đặt màn chiếu ở nhiều vị trí khác nhau để thu hình ảnh trên từng vị trí khác nhau đó. Quá trình phân tích ta sử dụng giá trị trung bình của cấp độ màu ghi trên mỗi đơn vị điểm ảnh sẽ loại bỏ được ảnh hưởng của yếu tố khoảng cách màn che. Ngoài ra, cường độ màu ghi giữa các pha không chênh lệch nhiều do đó, việc sử dụng các ảnh chụp thông thường kết quả phép lọc thực hiện không triệt để. Hiện tượng này được khắc phục bằng cách kết hợp phân tích giữa phương pháp chụp cắt lớp thông thường và chụp giao thoa cắt lớp dựa trên tính chất phản xạ giữa các pha trên ảnh chụp giao thoa cắt lớp. Đây là tính chất cho phép ta có thể xây dựng các thuật toán lọc dễ dàng và triệt để.

Bản chất của phép phân tích ảnh là xây dựng các thuật toán nhằm lọc đối tượng nghiên cứu dựa vào cấp độ màu của mỗi điểm ảnh. Thuật toán xây dựng cần thỏa mãn yêu cầu loại bỏ được các đại lượng không thuộc phạm vi nghiên cứu (gọi là các vân nhiễu xạ) xuất hiện trong ảnh chụp. Các nguyên nhân chủ yếu gây ra các vân nhiễu xạ là do ảnh hưởng của các pha sóng bức xạ và của các lỗi trong cấu trúc vật liệu. Ngoài ra còn rất nhiều các nguyên nhân khác: bụi, công nghệ,... Việc loại bỏ hoàn toàn các vân nhiễu xạ đó thực tế có nhiều khó khăn. Do đó, trong phạm vi của từng nghiên cứu cụ thể, các tác giả thường xác định một số nguyên nhân chủ yếu gây ra hiện tượng nhiễu xạ và tìm cách loại bỏ ảnh hưởng của chúng. Với các vân nhiễu xạ khác có mức độ ảnh hưởng không nhiều đến kết quả phân tích thường được chấp nhận như 1 yếu tố khách quan của quá trình làm thực nghiệm.



Hình 4. Phương pháp giá trị trung bình

- Phương pháp lọc các vân nhiễu xạ xuất hiện do lỗi cấu trúc bên trong vật liệu: Thực tế các lỗi này thường là các lỗ rỗng bên trong cấu trúc. Với các vật liệu tổng hợp có cốt liệu lớn dạng bê tông, các lỗ rỗng là khá lớn, việc phân biệt các vùng có lỗ rỗng trên ảnh có thể thực hiện khá dễ dàng. Ngược lại, với vật liệu tổng hợp có thành phần cốt liệu nhỏ, các lỗ rỗng thường rất bé, do đó tại vùng có lỗ rỗng sự chênh lệch giữa các pha ghi trên hình ảnh thu được không lớn, nên việc phân tích ảnh chụp cắt lớp thông thường sẽ gặp nhiều khó khăn vì các vân nhiễu xạ dạng này. Thông thường phép lọc được xây dựng căn cứ vào tốc độ thay đổi cường độ màu giữa các pha trên ảnh để phản ánh các vùng vật liệu bên trong mẫu.

- Ngoài ra, quá trình thí nghiệm thường xuất hiện các vân nhiễu xạ do tính chất và cơ chế ứng xử của mẫu vật liệu. Việc loại bỏ các vân nhiễu xạ này phải căn cứ vào nhiệm vụ nghiên cứu và cơ chế của từng loại mẫu vật liệu thí nghiệm để xây dựng thuật toán phù hợp.