

THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO MẪU THỬ ĐỘ BỀN KÉO CỦA KẾT CẤU DẠNG LATTICE

DESIGN AND FABRICATION OF TENSILE STRENGTH TEST SPECIMENS FOR LATTICE STRUCTURES

Huỳnh Trần Minh Chiến, Âu Thị Kim Loan, Hoàng Trọng Nghĩa, Tạ Nguyễn Minh Đức*
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh

Email: 22144062@student.hcmute.edu.vn;

autkl@hcmute.edu.vn;

nghiaht@hcmute.edu.vn;

*ductnm@hcmute.edu.vn

TÓM TẮT

Trong lĩnh vực nghiên cứu vật liệu và cơ học ứng dụng, việc thiết kế và chế tạo mẫu thử độ bền kéo cho kết cấu dạng lattice đóng vai trò quan trọng trong việc đánh giá đặc tính cơ học của các cấu trúc nhẹ nhưng có độ bền cao. Kết cấu lattice, với đặc điểm hình học phức tạp và khả năng phân bố ứng suất hiệu quả, đang được ứng dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp tiên tiến như hàng không, y sinh và sản xuất bồi đắp. Nghiên cứu này tập trung vào quá trình thiết kế tối ưu hình dạng và thông số cấu trúc của mẫu thử, kết hợp với công nghệ in 3D để chế tạo chính xác các chi tiết có hình học vi mô phức tạp. Thông qua việc thử nghiệm độ bền kéo và phân tích ứng xử cơ học, nghiên cứu nhằm đánh giá ảnh hưởng của cấu trúc lattice đến khả năng chịu lực, từ đó cung cấp cơ sở cho việc tối ưu hóa thiết kế trong các ứng dụng thực tiễn.

Từ khóa: Kết cấu lattice; Mẫu thử độ bền kéo; Thiết kế mẫu kéo; Mô phỏng; In 3D lattice.

ABSTRACT

In the field of materials research and applied mechanics, the design and fabrication of tensile test specimens for lattice structures play a crucial role in evaluating the mechanical properties of lightweight yet high-strength configurations. Lattice structures, characterized by their complex geometries and effective stress distribution capabilities, are increasingly being applied in advanced industries such as aerospace, biomedical engineering, and additive manufacturing. This study focuses on the optimal design of geometry and structural parameters of test specimens, combined with 3D printing technology to precisely fabricate components with intricate microstructures. Through tensile testing and mechanical behavior analysis, the research aims to assess the influence of lattice structures on load-bearing capacity, thereby providing a foundation for structural optimization in practical applications.

Keywords: Lattice structure; Tensile test specimen; Tensile specimen design; Simulation; 3D printing of lattice structures.

1. TỔNG QUAN

Kết cấu dạng lattice, với đặc trưng là các mạng lưới vi mô lặp lại, đã trở thành một giải pháp tối ưu trong thiết kế các cấu trúc nhẹ, bền và tiết kiệm vật liệu, được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như hàng không vũ trụ, y sinh, và xây dựng [1, 2]. Việc thiết kế và chế tạo mẫu thử độ bền kéo cho các kết cấu này đóng vai trò quan trọng trong việc đánh giá khả năng chịu lực, ứng xử cơ học, và tiềm năng ứng dụng thực tiễn. Quá trình này không chỉ đòi hỏi sự hiểu biết sâu sắc về cơ học vật liệu mà còn yêu cầu tích hợp các công nghệ tiên tiến như mô phỏng số, tối ưu hóa hình học, và in 3D để đảm bảo độ chính xác và tính đồng nhất của mẫu thử [3, 4]. Tổng quan này trình bày các khía cạnh chính liên quan đến thiết kế, chế tạo, và thử nghiệm độ bền kéo của kết cấu dạng lattice, đồng thời thảo luận các thách thức và hướng phát triển trong lĩnh vực này.

(*) Thiết kế kết cấu dạng lattice

Thiết kế kết cấu dạng lattice tập trung vào việc tối ưu hóa hình học để đạt được sự cân bằng giữa trọng lượng, độ bền, và khả năng hấp thụ năng lượng. Các cấu trúc lattice thường được xây dựng dựa trên các đơn vị ô (unit cells) lặp lại, chẳng hạn như BCC (body-centered cubic), FCC (face-centered cubic), hoặc các cấu trúc phức tạp hơn như gyroid [5]. Các nghiên cứu gần đây chỉ ra rằng việc thay đổi kích thước, hình dạng, và tỷ lệ rỗng của ô đơn vị có thể cải thiện đáng kể các đặc tính cơ học, bao gồm độ cứng và khả năng chịu tải [6]. Phần mềm mô phỏng số, chẳng hạn như ABAQUS hoặc ANSYS, được sử dụng rộng rãi để phân tích ứng xử cơ học của các cấu trúc này trước khi chế tạo, giúp dự đoán các điểm yếu tiềm tàng và tối ưu hóa thiết kế [7]. Ngoài ra, các thuật toán tối ưu hóa tô pô (topology

optimization) đã được áp dụng để tạo ra các cấu trúc lattice có hiệu suất cao, giảm thiểu lãng phí vật liệu mà vẫn đảm bảo yêu cầu kỹ thuật [8].

Một thách thức lớn trong thiết kế là đảm bảo tính đồng nhất của cấu trúc vi mô, đặc biệt khi các mẫu thử được chế tạo ở quy mô nhỏ. Sự sai lệch trong hình học, dù nhỏ, cũng có thể dẫn đến kết quả thử nghiệm không chính xác, làm giảm độ tin cậy của dữ liệu cơ tính [9]. Do đó, việc sử dụng các công cụ mô phỏng tiên tiến kết hợp với các phương pháp kiểm tra không phá hủy (NDT) trước khi thử nghiệm là cần thiết để đảm bảo chất lượng thiết kế [10].

(*) Công nghệ chế tạo mẫu thử

In 3D, đặc biệt là các kỹ thuật như Selective Laser Melting (SLM) và Stereolithography (SLA), đã cách mạng hóa việc chế tạo các kết cấu lattice với độ chính xác cao [3]. Các kỹ thuật này cho phép tái tạo các chi tiết vi mô phức tạp, từ các thanh nanomet đến các ô đơn vị có kích thước vài micromet, với độ phân giải vượt trội so với các phương pháp truyền thống. Vật liệu được sử dụng trong in 3D, chẳng hạn như hợp kim titan (Ti6Al4V), thép không gỉ, hoặc polymer cường độ cao, được lựa chọn dựa trên yêu cầu ứng dụng cụ thể [4]. Ví dụ, hợp kim titan thường được ưu tiên trong các ứng dụng y sinh nhờ tính tương thích sinh học và độ bền cao, trong khi polymer được sử dụng trong các ứng dụng yêu cầu trọng lượng nhẹ [5].

Quá trình chế tạo đòi hỏi sự kiểm soát chặt chẽ các thông số in, bao gồm công suất laser, tốc độ quét, và độ dày lớp, để đảm bảo tính đồng nhất và giảm thiểu khuyết tật như lỗ rỗng hoặc biến dạng nhiệt [6]. Các nghiên cứu gần đây đã chỉ ra rằng việc tối ưu hóa các thông số này có thể cải thiện đáng kể chất lượng bề mặt và độ chính xác hình học của mẫu thử [7].

Ngoài ra, việc hậu xử lý, chẳng hạn như xử lý nhiệt hoặc làm mịn bề mặt, cũng đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao tính chất cơ học của mẫu thử [8].

(*) Thử nghiệm độ bền kéo và phân tích ứng xử cơ học

Thử nghiệm độ bền kéo là phương pháp chính để đánh giá khả năng chịu lực của kết cấu dạng lattice. Các mẫu thử được thiết kế theo các tiêu chuẩn quốc tế, chẳng hạn như ASTM E8 hoặc ISO 6892, để đảm bảo tính nhất quán và so sánh được của kết quả [9]. Trong quá trình thử nghiệm, các thông số như ứng suất, biến dạng, và mô đun Young được ghi lại để phân tích ứng xử cơ học của cấu trúc. Kết quả thử nghiệm thường được so sánh với dữ liệu mô phỏng để xác nhận độ chính xác của mô hình số [10].

Một đặc điểm nổi bật của kết cấu dạng lattice là khả năng biến dạng không đồng nhất, do sự phân bố ứng suất phức tạp trong mạng lưới vi mô [1]. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng các cấu trúc lattice có thể đạt được độ bền kéo cao hơn so với vật liệu khối cùng khối lượng, nhờ vào hiệu ứng phân tán ứng suất qua các ô đơn vị [2]. Tuy nhiên, các yếu tố như khuyết tật chế tạo hoặc sai lệch hình học có thể làm giảm hiệu suất cơ học, đòi hỏi sự kiểm soát chặt chẽ trong quá trình chế tạo và thử nghiệm [3].

(*) Thách thức và hướng phát triển

Mặc dù đã đạt được nhiều tiến bộ, việc thiết kế và chế tạo mẫu thử độ bền kéo cho kết cấu dạng lattice vẫn đối mặt với nhiều thách thức. Thứ nhất, chi phí của công nghệ in 3D và vật liệu tiên tiến vẫn còn cao, hạn chế khả năng ứng dụng đại trà [4]. Thứ hai, việc chuẩn hóa quy trình chế tạo và thử nghiệm giữa các

phòng thí nghiệm khác nhau là một vấn đề cần giải quyết để đảm bảo tính tái lập của dữ liệu [5]. Thứ ba, sự phức tạp của các mô hình mô phỏng đòi hỏi nguồn lực tính toán lớn, đặc biệt khi phân tích các cấu trúc lattice với số lượng ô đơn vị lớn [6].

Trong tương lai, các hướng phát triển bao gồm việc tích hợp trí tuệ nhân tạo (AI) để tối ưu hóa thiết kế và dự đoán ứng xử cơ học [7]. Ngoài ra, việc phát triển các vật liệu mới với tính chất cơ học vượt trội và chi phí thấp hơn sẽ thúc đẩy ứng dụng của kết cấu lattice trong các ngành công nghiệp [8]. Cuối cùng, việc xây dựng các tiêu chuẩn quốc tế mới cho thử nghiệm và đánh giá kết cấu lattice sẽ góp phần nâng cao độ tin cậy và khả năng thương mại hóa của công nghệ này [9].

(*) Kết luận

Thiết kế và chế tạo mẫu thử độ bền kéo cho kết cấu dạng lattice là một lĩnh vực đa ngành, đòi hỏi sự kết hợp giữa thiết kế tối ưu, công nghệ chế tạo tiên tiến, và thử nghiệm cơ học chính xác. Các tiến bộ trong mô phỏng số, in 3D, và phân tích ứng xử cơ học đã mở ra nhiều cơ hội để phát triển các cấu trúc nhẹ, bền, và hiệu quả. Tuy nhiên, để hiện thực hóa tiềm năng của các kết cấu này, cần tiếp tục giải quyết các thách thức về chi phí, chuẩn hóa, và khả năng tính toán. Các nghiên cứu trong lĩnh vực này không chỉ góp phần nâng cao hiểu biết về cơ học vật liệu mà còn mở đường cho các ứng dụng thực tiễn trong các ngành công nghiệp tiên tiến.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Các kết cấu dạng lattice đang ngày càng được quan tâm nhờ đặc tính nhẹ, khả năng chịu lực tốt và tiềm năng ứng dụng trong các lĩnh vực

như hàng không, y sinh và chế tạo phụ gia. Tuy nhiên, để đánh giá chính xác đặc tính cơ học của chúng, cần thiết kế và chế tạo các mẫu thử độ bền kéo phù hợp. Nhiều nghiên cứu đã được thực hiện nhằm tối ưu hóa hình học mẫu thử và phương pháp chế tạo để đảm bảo độ chính xác và độ lặp lại cao trong kết quả thử nghiệm. Các công nghệ như in 3D kim loại hoặc polymer được sử dụng rộng rãi để chế tạo các mẫu có cấu trúc vi mô phức tạp. Tuy nhiên, quá trình in cần được kiểm soát chặt chẽ để tránh sai lệch hình học và khuyết tật trong cấu trúc. Nghiên cứu này tập trung vào thiết kế mẫu thử có vùng làm việc ổn định, đồng thời tối ưu hóa tham số in và vật liệu sử dụng để đảm bảo khả năng chịu kéo và độ đồng nhất trong kiểm tra. Qua đó, nghiên cứu hướng tới việc xây dựng quy trình chế tạo mẫu thử đáng tin cậy cho các kết cấu lattice phức tạp.

3. MÔ PHỎNG

Mô phỏng nghiên cứu chế tạo chi tiết chịu uốn sử dụng kết cấu lattice thường được thực hiện thông qua các phương pháp tiên tiến như phân tích phần tử hữu hạn (Finite Element Analysis - FEA). Phương pháp FEA cho phép mô phỏng chính xác hành vi của kết cấu dưới các tải trọng khác nhau, từ đó đánh giá khả năng chịu lực, đặc tính uốn và độ bền của kết cấu lattice trong các điều kiện thực tế. Các yếu tố như hình học cấu trúc, vật liệu và các yếu tố biên của mô phỏng được tối ưu hóa để dự đoán ứng xử của kết cấu với độ chính xác cao. Bằng cách sử dụng FEA, các nhà nghiên cứu có thể tối ưu hóa thiết kế của kết cấu lattice, điều chỉnh các thông số như mật độ tế bào, hình dạng các sợi lattice, và hướng tải để đạt được hiệu quả uốn tối ưu. Điều này không chỉ giúp cải thiện hiệu suất chịu lực mà còn giảm thiểu trọng lượng của chi tiết, mang lại các giải pháp thiết kế nhẹ nhưng vẫn bền vững cho các ứng dụng thực tiễn.

4. PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG

Mô phỏng chế tạo chi tiết chịu uốn sử dụng kết cấu lattice bằng phần mềm ANSYS là một quy trình phức tạp nhưng rất hiệu quả để phân tích và tối ưu hóa thiết kế. Đầu tiên, sử dụng ANSYS Design Modeler để tạo mô hình chi tiết với kết cấu lattice. Mô hình này cần phản ánh chính xác hình học và các đặc điểm của chi tiết thực tế, bao gồm các yếu tố như mật độ, hình dạng các tế bào và sự phân bố lực. Tiếp theo, sử dụng ANSYS Meshing để chia lưới mô hình. Quá trình này giúp phân chia mô hình thành các phần tử nhỏ hơn, từ đó cải thiện độ chính xác trong phân tích ứng suất và biến dạng. Sau khi hoàn thành việc chia lưới, các thông số vật liệu như độ bền kéo, độ cứng và khả năng chịu mỏi được nhập vào. ANSYS hỗ trợ nhiều loại vật liệu, từ kim loại truyền thống đến composite hoặc vật liệu đặc biệt phù hợp với kết cấu lattice. Sau đó, các điều kiện tải trọng thực tế, như lực uốn, lực kéo hoặc áp suất, được mô phỏng để mô phỏng các điều kiện làm việc thực tế của chi tiết. Các điều kiện biên cần được thiết lập để phản ánh môi trường hoạt động của chi tiết, như các kẹp chặt hoặc điều kiện tải trọng bất đối xứng. Cuối cùng, sử dụng ANSYS Mechanical để phân tích ứng suất, biến dạng và khả năng chịu uốn của kết cấu lattice. Quá trình này cho phép các nhà thiết kế tối ưu hóa cấu trúc lattice bằng cách điều chỉnh các thông số như độ dày thanh, hình dạng hoặc cấu trúc mạng lưới, từ đó đạt được sự cân bằng giữa hiệu quả chịu lực và trọng lượng nhẹ của chi tiết.

5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả mô phỏng cho thấy các vùng ứng suất tập trung cao nhất thường xuất hiện tại các điểm giao nhau của các thanh trong kết cấu lattice, nơi mà các ứng suất có xu hướng 

tập trung do sự thay đổi đột ngột của hình học cấu trúc. Biến dạng của chi tiết được phân bố đồng đều hơn khi thiết kế tối ưu, điều này giúp cải thiện khả năng chịu uốn của chi tiết. Các thiết kế lattice tối ưu hóa có thể giảm đáng kể trọng lượng của chi tiết mà vẫn đảm bảo được độ bền cơ học cần thiết. Các kết quả mô phỏng thường chỉ ra rằng việc thay đổi hình dạng hoặc kích thước của các thanh lattice có thể cải thiện hiệu suất tổng thể của kết cấu, đặc biệt là trong việc phân phối ứng suất và giảm thiểu các điểm yếu. Kết quả mô phỏng còn cung cấp những gợi ý về các cải tiến trong thiết kế, như thay đổi vật liệu sử dụng hoặc điều chỉnh cấu trúc để tăng cường khả năng chịu lực và giảm thiểu sự mất mát năng lượng. Tuy nhiên, thảo luận cũng cần lưu ý đến các hạn chế của mô phỏng, chẳng hạn như độ chính xác của mô hình vật liệu hoặc điều kiện biên, khi mà sự tương đồng giữa mô phỏng và thực tế có thể bị ảnh hưởng bởi những yếu tố không thể mô phỏng đầy đủ, như sự không đồng đều trong quá trình chế tạo hoặc các khuyết tật vật liệu.

5.1. Setup thí nghiệm



Hình 1. Thiết bị in 3D

5.2. Vận hành thiết bị in 3D



Hình 2. Cài đặt thông số in

Để bắt đầu in 3D với máy Anycubic Photon Mono, người dùng cần bật nguồn bằng cách nhấn nút khởi động. Khi màn hình cảm ứng hiển thị giao diện chính, chọn mục “Tool” để vào phần thiết lập và hiệu chuẩn. Trong mục “Move Z”, sử dụng các nút điều khiển để di chuyển trục Z với các bước 0.1mm, 1mm hoặc 10mm, nhằm điều chỉnh bàn in sao cho chính xác, đưa nó về đúng vị trí hoặc thiết lập khoảng cách phù hợp với màn hình. Sau khi đã căn chỉnh xong, nhấn “Z = 0” để đặt lại gốc tọa độ Z, đảm bảo các lớp in sau này sẽ chính xác. Sau khi hoàn tất bước hiệu chỉnh, quay lại màn hình chính và chọn “Print” để chuẩn bị file in. Đồng thời, người dùng cần đổ đầy resin (nhựa lỏng) vào khay in, chắc chắn lượng resin đủ để in mô hình hoàn chỉnh. Kiểm tra xem khay resin đã được lắp đúng và không có vật cản. Tất cả các thông tin về cài đặt và các bước sẽ được hiển thị rõ ràng trên màn hình cảm ứng, bao gồm lựa chọn hệ thống (System), công cụ (Tool) và chế độ in (Print), giúp người dùng dễ dàng thực hiện các thao tác cần thiết trước khi bắt đầu quá trình in 3D.

Máy in 3D resin hoạt động dựa trên việc sử dụng nhựa lỏng cảm quang, được đổ vào khay in. Đầu tiên, người dùng cần điều chỉnh bàn in bằng cách di chuyển trục Z để bàn in tiếp xúc gần với mặt phim FEP trong khay resin, nhằm đảm bảo lớp in đầu tiên bám chặt vào bề mặt. Sau đó, màn hình LCD dưới khay sẽ chiếu

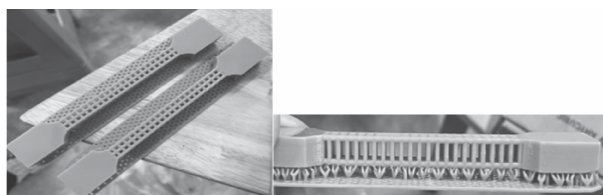
các lớp cắt của mô hình, và ánh sáng UV từ đèn LED sẽ xuyên qua các vùng đã được xác định, làm đông cứng nhựa ở những khu vực đó. Khi một lớp hoàn thành, bàn in sẽ từ từ nâng lên, đồng thời lớp nhựa mới sẽ được đưa vào vị trí cũ để tiếp tục in. Quá trình này được lặp lại liên tục, lớp sau sẽ được in lên trên lớp trước cho đến khi mô hình hoàn thiện. Sau khi in xong, vật thể sẽ được nâng lên khỏi khay resin, và cần thực hiện các bước hậu xử lý như rửa bằng cồn và chiếu UV để làm cứng hoàn toàn.

5.3. Sản phẩm

1) Khái quát

Sản phẩm được thiết kế dưới dạng “lưới cubic”, đây là một kiểu cấu trúc phổ biến trong kỹ thuật với các ô đều đặn, có tính ứng dụng cao trong công nghiệp, kỹ thuật cơ khí, và các hệ thống kỹ thuật công trình. Được chế tạo từ vật liệu nhựa có tính chịu lực và chống mài mòn, sản phẩm này đáp ứng các tiêu chuẩn kỹ thuật khắc khe và phù hợp với các ứng dụng đòi hỏi tính chính xác và bền bỉ.

Với kiểu dáng nhỏ gọn và được tối ưu hóa qua việc phân bố đồng đều các ô lưới, sản phẩm không chỉ nhẹ mà còn có khả năng chịu tải trọng tốt, thích hợp cho cả môi trường áp lực cao hay môi trường yêu cầu tính thông thoáng như hệ thống lọc khí, lọc nước, hoặc làm bề mặt giảm ma sát.



Hình 3. Sản phẩm sau in

- Cấu hình mạng ô đều (Uniform Grid):

Lưới cubic được hình thành từ các ô hình vuông hoặc chữ nhật đều đặn, với các đường liên kết vuông góc tạo thành mạng lưới ba chiều. Điều này đảm bảo sự phân bố đồng đều của tải trọng và tối ưu hóa không gian trống.

- Tỷ lệ rỗng so với đặc (Void-to-Solid Ratio): Thiết kế mạng ô đều cung cấp tỷ lệ rỗng lớn, tạo ra khả năng thông khí, thoát nước hoặc giảm trọng lượng mà không làm suy giảm đáng kể độ bền kết cấu.

- Tính đối xứng: Lưới cubic đảm bảo sự đối xứng hoàn hảo, giúp cải thiện hiệu suất cơ học, dễ dàng dự đoán và kiểm soát hành vi của cấu trúc dưới tác động của lực.

- Phân phối tải trọng: Lưới cubic phân bố lực đồng đều trên toàn bộ bề mặt, giảm thiểu nguy cơ tập trung lực (stress concentration) tại các điểm kết nối. Điều này giúp tăng tuổi thọ sản phẩm và giảm nguy cơ hư hỏng. Khả năng chịu lực nén và lực kéo phụ thuộc vào mật độ ô (cell density) và độ dày của thành ô.

- Độ bền uốn: Với cấu trúc ô đều, lưới cubic có khả năng chịu được lực uốn từ nhiều hướng khác nhau mà vẫn giữ được độ ổn định hình dạng.

- Khả năng chống biến dạng: Cấu trúc ba chiều cho phép chống lại sự biến dạng trong điều kiện áp suất lớn hoặc tải trọng thay đổi liên tục.

- Ứng dụng trong ngành xây dựng: Lưới cubic được sử dụng làm lưới gia cố trong nền móng hoặc các bề mặt cần khả năng thoát nước tốt, như trong thi công đường bộ hoặc tòa nhà.

- Ứng dụng trong ngành cơ khí: Các mạng ô đều được tích hợp vào thiết kế các bộ phận

phần giảm trọng lượng, như khung máy móc, hoặc làm lớp giảm chấn trong hệ thống cơ động.

- Ứng dụng trong công nghiệp in 3D: Cấu trúc này thường được sử dụng trong in 3D để tạo ra các sản phẩm nhẹ nhưng vẫn đảm bảo độ bền cao.

- Ưu điểm: Tối ưu hóa vật liệu, hiệu năng cao, và đa dạng ứng dụng từ cơ khí, xây dựng, y tế đến chế tạo các sản phẩm công nghiệp phức tạp.

- Hạn chế: Việc chế tạo lưới cubic đòi hỏi công nghệ gia công hiện đại để đảm bảo tính đồng nhất và kích thước chính xác. Ngoài ra, tùy vào vật liệu sử dụng, khả năng chịu nhiệt của lưới có thể bị giới hạn.

2) Thông số kích thước

- Kiểu lưới: Lưới cubic dạng mạng ô đều.
- Chiều dài tổng thể sản phẩm: 150mm.
- Chiều cao sản phẩm: 10mm.
- Khoảng cách giữa hai phần sản phẩm: 88mm.
- Đường kính một cell (ô lưới): 2mm.
- Vật liệu: Nhựa kỹ thuật, có khả năng chống mài mòn, chịu nhiệt độ cao và kháng hóa chất.

3) Phân tích

a) Ưu điểm cấu trúc và thiết kế:

- Độ bền cao: Thiết kế dạng lưới cubic đảm bảo phân bố đều lực tác động, giảm tải trọng tập trung, giúp sản phẩm có khả năng chịu lực tốt mà không bị biến dạng.

- Khối lượng nhẹ: Với vật liệu nhựa kỹ thuật và cấu trúc lưới, sản phẩm đạt được trọng lượng nhẹ, lý tưởng cho việc vận chuyển và lắp ráp.

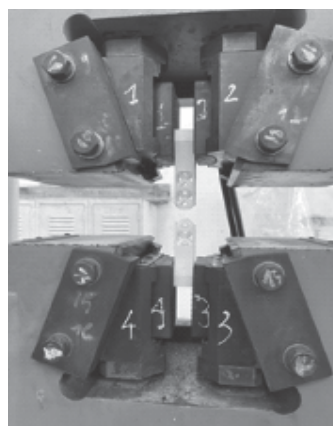
- Khả năng thông thoáng tối ưu: Các ô lưới đường kính 2mm hỗ trợ lưu thông khí, nước hoặc chất lỏng, rất hữu ích trong các hệ thống làm mát, lọc hoặc thoát nước.

- Tính đa dụng: Phù hợp với nhiều lĩnh vực công nghiệp như:

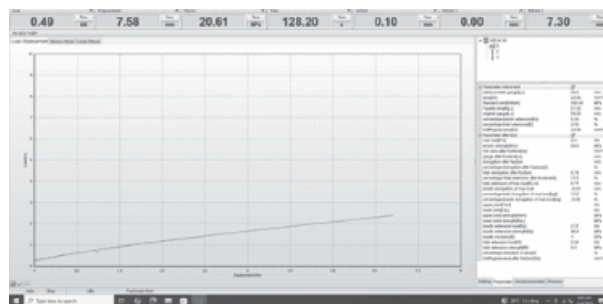
+ Hệ thống lọc khí, lọc nước.

+ Khuôn đúc sản phẩm hoặc làm bộ phận giảm ma sát trong cơ khí.

+ Vật liệu trong xây dựng, dùng làm bề mặt giảm lực hoặc hấp thụ nhiệt.



Hình 4. Thử độ bền kéo



Hình 5. Kết quả thử độ bền cho chi tiết in 3D

b) Hạn chế cần lưu ý

- Khả năng chịu nhiệt giới hạn: Trong trường hợp nhiệt độ vượt quá mức chịu đựng của nhựa kỹ thuật, sản phẩm có thể bị hư hỏng hoặc biến dạng.

- Ứng dụng cụ thể: Kiểu thiết kế này không phù hợp với những hệ thống chịu lực cực lớn hoặc môi trường có áp suất vượt quá ngưỡng kỹ thuật.

c) Ứng dụng thực tiễn:

Sản phẩm này có thể được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực:

- Ngành cơ khí chế tạo: Sử dụng làm các bộ phận đệm hoặc giảm rung.

- Hệ thống môi trường: Làm phần tử trong hệ thống lọc nước hoặc khí.

- Ngành xây dựng: Lót bề mặt, tạo lớp giảm ma sát hoặc giảm áp lực nước tại các khe hở.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu về chi tiết chịu uốn với kết cấu lattice đã chứng minh tiềm năng mạnh mẽ trong việc tối ưu hóa trọng lượng và độ bền cơ học của sản phẩm, đặc biệt trong các ngành công nghiệp đòi hỏi hiệu quả cao như hàng không, ô tô, và xây dựng. Kết cấu lattice không chỉ giúp giảm vật liệu sử dụng mà còn đảm bảo khả năng chịu lực vượt trội nhờ cấu trúc ô đều và đối xứng. Với việc tích hợp công nghệ hiện đại như in 3D và gia công CNC, quá trình chế tạo đã được tinh gọn và đạt độ chính xác cao, góp phần mở rộng ứng dụng thực tiễn của sản phẩm.

Sản phẩm lưới cubic là minh chứng rõ ràng cho tính linh hoạt, hiệu quả trong thiết kế, và khả năng ứng dụng rộng rãi từ cơ khí đến xây dựng. Tuy nhiên, những hạn chế như khả năng chịu nhiệt giới hạn và yêu cầu công nghệ gia công phức tạp cần được xem xét để đảm bảo tối ưu hóa hiệu suất. Tổng quan, kết cấu lattice và sản phẩm lưới cubic hứa hẹn sẽ tiếp tục trở thành một giải pháp quan trọng trong việc cải thiện hiệu quả vật liệu, giảm chi phí sản xuất, và thúc đẩy sự phát triển của các ngành công nghiệp hiện đại.

(*) Đóng góp của tác giả:

- Hình thành ý tưởng và mục tiêu nghiên cứu: Nguyễn Văn Minh;

- Thực hiện nghiên cứu, thu thập dữ liệu, phân tích dữ liệu, viết và chỉnh sửa bài báo: Huỳnh Trần Minh Chiến, Âu Thị Kim Loan, Hoàng Trọng Nghĩa, Tạ Nguyễn Minh Đức.

Lời cảm ơn:

Nhóm nghiên cứu xin cảm ơn Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh đã tài trợ kinh phí cũng như hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu này. Bài báo này là sản phẩm của đề tài NCKH với mã số: SV2025-370.❖

Ngày nhận bài: 06/5/2025

Ngày phản biện: 16/5/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Schüller Ravoo, S., et al. (2013), "Flexible and elastic scaffolds for cartilage tissue engineering prepared by stereolithography using poly(trimethylene carbonate) based resins". Macromolecular Bioscience, 13(12), 1711-1719. 

- [2]. Habijan, T., et al. (2013), “*The biocompatibility of dense and porous nickel-titanium produced by selective laser melting*”. Materials Science and Engineering: C, 33(1), 419-426.
- [3]. Cooke, M. N., et al. (2003), “*Use of stereolithography to manufacture critical sized 3D biodegradable scaffolds for bone ingrowth*”. Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials, 64(2), 65-69.
- [4]. Yang, X., et al. (2013), “*Design of 3D orthotropic materials with prescribed ratios for effective Young's moduli*”. Computational Materials Science, 67, 229-237.
- [5]. Bliley, J. M., & Marra, K. G. (2015), “*Polymeric biomaterials as tissue scaffolds*”. In Stem Cell Biology and Tissue Engineering in Dental Sciences (pp. 149-161). Elsevier.
- [6]. Arakawa, C. K., & DeForest, C. A. (2017), “*Polymer design and development*”. In Biology and Engineering of Stem Cell Niches (pp. 295-314), Elsevier.
- [7]. Li, Y., et al. (2018), “*Additively manufactured biodegradable porous magnesium*”. Acta Biomaterialia, 67, 378-392.
- [8]. Onal, E., et al. (2018), “*Mechanical properties and in vitro behavior of additively manufactured and functionally graded Ti6Al4V porous scaffolds*”. Metals, 8(4), 200.
- [9]. Tamay, D. G., et al. (2019), “*3D and 4D printing of polymers for tissue engineering applications*”. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 7, 164.
- [10]. Wauthle, R., et al. (2015), “*Revival of pure titanium for dynamically loaded porous implants using additive manufacturing*”. Materials Science and Engineering: C, 54, 94-100.