

TCVN 14311:2025

ISO/ASTM 52941:2020

Xuất bản lần 1

**SẢN XUẤT BỒI ĐÁP – HIỆU SUẤT VÀ ĐỘ TIN CẬY HỆ
THỐNG – KIỂM TRA CHẤP NHẬN ĐỐI VỚI THIẾT BỊ
SẢN XUẤT BỒI ĐÁP GIƯỜNG BỘT KIM LOẠI BẰNG
TIA LAZE ĐỐI VỚI NGUYÊN LIỆU KIM LOẠI CHO ỨNG
DỤNG HÀNG KHÔNG VŨ TRỤ**

*Additive manufacturing – System performance and reliability – Acceptance tests for
laser metal powder- bed fusion machines for metallic materials for aerospace
application*

HÀ NỘI – 2025

Lời nói đầu

TCVN 14311:2025 hoàn toàn tương đương ISO/ASTM 52941:2020

TCVN 14311:2025 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC 261 Sản xuất bột đắp biên soạn, Viện Tiêu chuẩn Chất lượng Việt Nam đề nghị, Ủy ban Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng Quốc gia thẩm định, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Sản xuất bồi đắp – Hiệu suất và độ tin cậy hệ thống – Kiểm tra chấp nhận đối với thiết bị sản xuất bồi đắp giường bột kim loại bằng tia laze đối với nguyên liệu kim loại cho ứng dụng hàng không vũ trụ

Additive manufacturing – System performance and reliability – Acceptance tests for laser metal powder- bed fusion machines for metallic materials for aerospace application

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này quy định các yêu cầu và phương pháp thử để đánh giá và đánh giá lại các thiết bị in bằng tia laze cho quá trình sản xuất bồi đắp giường bột kim loại ứng dụng trong ngành hàng không vũ trụ.

Tiêu chuẩn này cũng có thể được sử dụng để kiểm tra các đặc điểm của thiết bị trong các cuộc kiểm tra định kỳ hoặc sau các hoạt động bảo trì và sửa chữa.

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau rất cần thiết cho áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn có ghi năm công bố thì chỉ áp dụng phiên bản đã nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi, nếu có.

ISO 11146 (tất cả các phần), Lasers and laser-related equipment – Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios (*Laze và thiết bị liên quan đến laze – Phương pháp thử độ rộng chùm tia laze, góc phân kỳ và tỷ lệ truyền chùm tia*)

ISO 11554, Optics and photonics – Lasers and laser-related equipment – Test methods for laser beam power, energy and temporal characteristics (*Quang học và photonic – Laze và thiết bị liên quan đến laze – Phương pháp thử công suất, năng lượng và đặc tính thời gian của chùm tia laze*)

TCVN 14305 (ISO/ASTM 52900), Sản xuất bồi đắp – Nguyên tắc chung – Cơ sở và từ vựng

ISO/ASTM 52921, Standard terminology for additive manufacturing – Coordinate systems and test methodologies (*Thuật ngữ tiêu chuẩn cho sản xuất bồi đắp – Hệ tọa độ và phương pháp thử nghiệm*)

3 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này sử dụng các thuật ngữ và định nghĩa nêu trong TCVN 14305 (ISO/ASTM 52900), ISO/ASTM 52921 và các thuật ngữ và định nghĩa sau:

3.1

Tốc độ quét (scanning speed)

Tốc độ tuyến tính tương đối của chuyển động chùm tia laze trong mặt phẳng của đế in (mặt phẳng làm việc).

3.2

Thời gian khởi động (warm-up time)

Thời gian từ khi bật thiết bị cho đến khi chu kỳ in có thể bắt đầu, theo yêu cầu của nhà sản xuất thiết bị.

3.3

Đế cấp liệu (feeding platform)

Đế di chuyển từng bước để cung cấp bột cho *thiết bị rải bột* (3.4).

3.4

Thiết bị rải bột (powder spreading device)

Cơ chế cung cấp bột, phân phối và trải đều bột trên bề mặt in.

3.5

Công suất laze danh định (rated laser power)

Công suất tối đa mà nhà sản xuất laze đã quy định.

3.6

Vị trí thấu kính chùm tia nhỏ nhất (minimum beam waist position)

Vị trí điểm hội tụ nơi chùm tia có năng lượng tập trung nhất và diện tích mặt cắt nhỏ nhất.

4 Thiết bị

Thiết bị phải được lắp đặt, vận hành và bảo trì theo các hướng dẫn bằng văn bản.

5 Điều kiện môi trường và vận hành

Các điều kiện môi trường và vận hành trong quá trình kiểm tra đánh giá phải đáp ứng các phạm vi yêu cầu nếu được nhà sản xuất thiết bị quy định và phải tuân thủ các điều kiện mà người sử dụng thiết bị quy định trong sản xuất, ví dụ như sau:

a) nhiệt độ;

- b) độ ẩm;
- c) dịch vụ/tài nguyên (ví dụ: cung cấp điện, khí nén, khí bảo vệ, nước);
- d) chấn động/rung động;
- e) áp suất buồng in;
- f) độ tinh khiết của khí trong quá trình.

Các biện pháp bảo vệ sức khỏe và an toàn liên quan đến bức xạ laser và bảo vệ chống cháy nổ phải được thực hiện.

6 Kiểm tra chất lượng

6.1 Khái quát chung

Việc kiểm tra chất lượng các thiết bị in bằng tia laser cho quá trình sản xuất bồi đắp giường bột kim loại phải bao gồm tối thiểu các yêu cầu được quy định trong các điều từ 6.2 đến 6.7.

Các phép đo phải được thực hiện bằng công cụ đo đã được hiệu chuẩn theo hướng dẫn sử dụng thiết bị đo.

6.2 Các bài kiểm tra tia laser

6.2.1 Kiểm tra công suất tia laser cho laser sóng liên tục

Công suất tia laser phải được đo. Việc đo lường nên được thực hiện theo ISO 11554, nếu có thể áp dụng. Các cài đặt công suất thiết bị danh nghĩa phải được so sánh với các giá trị thực tế. Việc đo lường phải được thực hiện bằng công cụ đo đã được hiệu chuẩn tại điểm sử dụng (tức là bên trong buồng in). Công cụ phải có khả năng đo chính xác dải công suất laser thực tế.

Việc đo lường công suất tia laser phải đáp ứng các yêu cầu sản xuất bằng cách bao phủ dải công suất điển hình. Nếu dải này không rõ ràng, nên đo ít nhất tại ba điểm, bao gồm 30% và 90% công suất laser danh định tối đa.

Nếu được nhà sản xuất thiết bị quy định, thời gian làm nóng thiết bị phải được áp dụng.

6.2.2 Kiểm tra độ ổn định công suất tia laser cho laser sóng liên tục

Độ ổn định công suất tia laser nên được đo theo ISO 11554, nếu có thể áp dụng. Nếu ISO 11554 không áp dụng, thì phải thực hiện theo quy trình sau. Nếu thời gian làm nóng được quy định, các phép đo độ ổn định phải bắt đầu ngay sau khi thời gian làm nóng hoàn tất.

Trừ khi các bên hợp đồng có thỏa thuận khác, việc chứng minh độ ổn định công suất tia laser bằng cách thực hiện các phép đo công suất sau tất cả các yếu tố quang học, không có bột:

- a) công suất tia laser danh định tối đa sau thời gian làm nóng của thiết bị;

b) công suất tia laze định mức tối đa thực hiện không muộn hơn 2 min sau khi tia laze được giữ ở công suất tối đa trong ít nhất 15 min;

Sự biến động giữa hai phép đo không được vượt quá $\pm 5\%$.

CHÚ THÍCH: Xem Điều 3.5 để biết định nghĩa về công suất tia laze định mức.

6.2.3 Kiểm tra laze sóng xung

Các đặc tính phải được đo theo ISO 11554. Các yêu cầu phải được các bên ký kết thỏa thuận.

6.2.4 Đánh giá các đặc tính của chùm tia laze

Các đặc tính của chùm tia laze (kích thước điểm, hình dạng và đối xứng) phải được xác định bằng thiết bị kiểm tra phù hợp ở mặt phẳng làm việc với chùm tia laze theo phương thẳng đứng so với mặt phẳng làm việc.

Trừ khi các bên hợp đồng có thỏa thuận khác, việc đánh giá các đặc tính của chùm tia laze phải được thực hiện theo phần phù hợp của ISO 11146 (tất cả các phần).

Kết quả phải được so sánh với các yêu cầu về kích thước điểm, hình dạng và đối xứng.

6.2.5 Đánh giá vị trí thấu kính chùm tia laze nhỏ nhất ở các vị trí khác nhau trên mặt phẳng làm việc

Sau khi thời gian làm nóng hoàn tất, vị trí thấu kính chùm tia laze nhỏ nhất (điểm hội tụ) phải được xác định ở trung tâm và ở bốn điểm tại các điểm cực của bề mặt có sẵn để in các chi tiết.

Một giá trị cho vị trí thấu kính chùm tia trên trục z phải được đưa ra với tham chiếu đến bề mặt in.

Vị trí thấu kính chùm tia nhỏ nhất có thể được xác định bằng cách tạo các đường song song với tia laze trên một tấm thử nghiệm ở các độ cao để in khác nhau (trục Z). Đường mảnh nhất đại diện cho vị trí hội tụ.

6.2.6 Đánh giá độ ổn định nhiệt của vị trí thấu kính chùm tia nhỏ nhất

Việc đánh giá độ ổn định của vị trí thấu kính chùm tia nhỏ nhất phải được thực hiện ở 10 %, 50 % và 90 % công suất laze danh định tối đa sau khi thời gian làm nóng hoàn tất.

Việc đánh giá phải được thực hiện với chùm tia laze theo phương thẳng đứng ở mặt phẳng làm việc bằng thiết bị kiểm tra phù hợp.

Trừ khi các bên hợp đồng có thỏa thuận khác, thời gian tối thiểu cho mỗi cài đặt công suất phải là 15 min.

Kết quả của đánh giá này phải được so sánh với kết quả của đánh giá ở điều 6.2.5 và/hoặc đánh giá kích thước điểm ở điều 6.2.4, tùy thuộc vào các phương pháp đo lường được sử dụng.

6.2.7 Kiểm tra vị trí chùm tia laze

Cấu hình của vị trí chùm tia laze (hiệu chỉnh trường) liên quan đến mặt phẳng làm việc phải được xác định. Điều này có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các mẫu hình học do tia laze tạo ra và đo lường chúng.

Vector lệch X-Y của vị trí chùm tia laze so với các vị trí đã chỉ định không được vượt quá 0,06 mm, trừ khi các bên hợp đồng có thỏa thuận khác.

6.2.8 Độ chính xác của đường dẫn

Để xác định độ chính xác của đường dẫn, tại một tốc độ quét nhất định, một mẫu hình học phải được áp dụng trên một tấm thử. Phụ lục B đưa ra ví dụ về mẫu hình học cho kiểm tra độ chính xác của đường dẫn. Tốc độ quét tại đó độ chính xác của đường dẫn được xác định phải được ghi lại.

Mẫu hình học để xác định độ chính xác của đường dẫn nên bao gồm toàn bộ phạm vi làm việc và phạm vi tốc độ quét và được đo bằng các thiết bị quang học. Các yếu tố sau đây phải được đánh giá:

- sự phù hợp điểm vào điểm ra tại các đường viền khép kín hoặc bổ sung;
- độ chính xác của đường dẫn khi thay đổi hướng (tính quán tính của hệ quang học);
- khu vực chồng lấp giữa các dạng phơi sáng khác nhau (ví dụ: phơi sáng theo đường viền và thể tích).

6.2.9 Tốc độ quét

Các phép đo tốc độ quét phải được thực hiện theo các hướng x và y cũng như theo hướng $(45 \pm 15)^\circ$.

Tốc độ quét cho phép đo có thể được xác định bởi người sử dụng.

VÍ DỤ

Tốc độ quét có thể được xác định bằng cách khắc laze (dấu vết nóng chảy) trên một tấm thử nghiệm trong mặt phẳng làm việc. Để làm điều này, một chiều dài quỹ đạo được xác định áp dụng trong một khoảng thời gian xác định. Chiều dài đường dẫn sau đó được đo và chia cho thời gian bật laze thực tế. Việc đo thời gian bật laze thực tế có thể được thực hiện, chẳng hạn, tại trạm điều khiển laze.

Sự sai lệch tối đa cho phép của tốc độ quét đo được so với giá trị đã chỉ định là $\pm 5\%$, trừ khi các bên hợp đồng có thỏa thuận khác.

6.2.10 Yêu cầu đối với thiết bị có nhiều nguồn tia laze

Khi một thiết bị nhiều nguồn laze được sử dụng để sản xuất các chi tiết, mỗi phần hoàn toàn nằm trong vùng làm việc của một laze, các thông số như chi tiết trong điều 6.2.1 đến 6.2.9 phải được áp dụng riêng biệt cho mỗi vùng làm việc.

Khi một thiết bị nhiều nguồn laze được sử dụng để sản xuất các chi tiết, bất kỳ phần nào trải dài qua nhiều vùng làm việc của laze, cần phải thực hiện các hiệu chỉnh chéo bổ sung, theo thỏa thuận của các bên hợp đồng.

Khi nhiều nguồn laze nhắm vào cùng một vị trí tại bất kỳ điểm nào trong khu vực in, khoảng cách giữa bất kỳ hai vị trí chùm tia laze nào không được vượt quá 0,06 mm, trừ khi các bên hợp đồng có thỏa thuận khác.

Các kết quả đo lường phải được ghi lại.

6.3 Kiểm tra chức năng cơ học

6.3.1 Tổng quan chung

Các chức năng cơ học liên quan đến quá trình phải được kiểm tra về độ chụm và độ tái lập của chúng.

6.3.2 Vị trí để in

Độ chụm và khả năng lặp lại của chuyển động của đế in phải được xác định trong một dải chuyển động đã định, ví dụ, bằng cách sử dụng đồng hồ đo hoặc thước kính.

Để thực hiện điều này, đế in phải được di chuyển theo các bước tiến, tương ứng với các giá trị độ dày lớp bột mục tiêu hoặc bội số của chúng.

Các phép đo phải được thực hiện ở ít nhất năm độ cao để in (0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 % của toàn bộ phạm vi di chuyển đế in), với ít nhất 5 chuyển động liên tiếp được thực hiện ở mỗi độ cao để in, với đế in không tải ở các vị trí cao nhất và dưới tải trọng ở các vị trí thấp nhất. Tải trọng phải được xác định liên quan đến vật liệu được xử lý (mật độ tương đối) và khả năng chịu tải, tối thiểu là 30 % của khả năng chịu tải.

Các dung sai phải được các bên hợp đồng thỏa thuận.

6.3.3 Vị trí nền cấp bột

Điều này chỉ áp dụng cho các thiết bị được trang bị nền cấp bột.

Độ chụm và khả năng lặp lại của chuyển động của nền cấp bột phải được xác định trong một dải chuyển động đã định, ví dụ, bằng cách sử dụng đồng hồ đo hoặc thước kính.

Để thực hiện điều này, nền cấp bột phải được di chuyển theo các khoảng cách tương ứng với lượng bột cần thiết để đặt một hoặc nhiều lớp bột với độ dày lớp bột dự định.

Các phép đo phải được thực hiện ở ít nhất năm độ cao nền cấp bột (0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 % của toàn bộ phạm vi di chuyển nền cấp bột), với ít nhất 5 chuyển động liên tiếp được thực hiện ở mỗi độ cao nền cấp bột, với nền cấp bột không tải ở các vị trí cao nhất và dưới tải trọng ở các vị trí thấp nhất. Tải trọng phải được xác định liên quan đến nguyên liệu được xử lý (mật độ tương đối) và khả năng chịu tải. Các dung sai phải được các bên hợp đồng thỏa thuận.

6.3.4 Các cơ chế xử lý bột khác

Các thiết bị mà bột được cung cấp cho khu vực cấp bột bằng phương pháp không dựa trên nền cấp bột yêu cầu một phương pháp để đo và xác minh khả năng lặp lại của lượng bột được cung cấp. Các dung sai cho lượng bột được cung cấp phải được các bên hợp đồng thỏa thuận.

6.3.5 Chuyển động của thiết bị phân phối bột

Chức năng của thiết bị phân phối bột phải được kiểm tra để đảm bảo hoạt động đồng đều và lặp lại. Việc kiểm tra nên được thực hiện dưới các điều kiện hoạt động, tức là với bột.

6.4 Hệ thống làm nóng

Các chức năng của hệ thống làm nóng phải được chứng minh hoặc xác minh theo yêu cầu của người sử dụng thiết bị.

6.5 Môi trường bên trong không gian làm việc

Bằng cách sử dụng công nghệ cảm biến và hệ thống điều khiển phù hợp, phải đảm bảo rằng môi trường tuân thủ các yêu cầu trong suốt quá trình và các yêu cầu này phải được xác định.

Các hệ thống cảm biến phải được hiệu chuẩn và một giao thức hiệu chuẩn phải có sẵn.

Tính kín khí của thiết bị phải được xác định và kiểm tra. Việc kiểm tra có thể được thực hiện bằng cách đo sự thay đổi áp suất trong một khoảng thời gian xác định. Kết quả kiểm tra phải được ghi lại.

6.6 Ghi dữ liệu

Chức năng của hệ thống ghi dữ liệu phải được chứng minh hoặc xác minh.

6.7 Hệ thống an toàn

Chức năng của tất cả các hệ thống an toàn hiện có phải được chứng minh hoặc xác minh.

6.8 Các kiểm tra tùy chọn

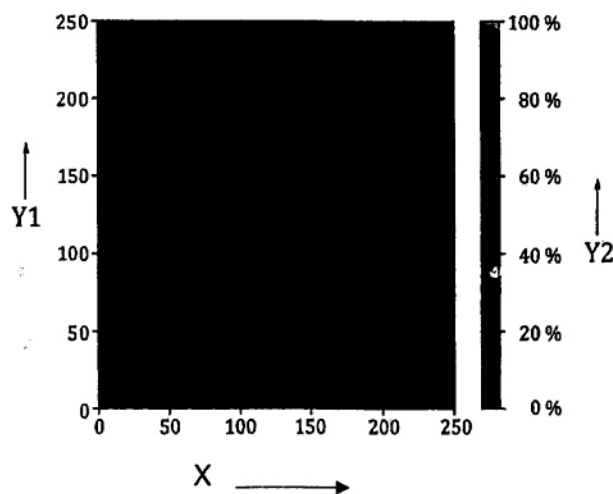
6.8.1 Các mẫu thử nghiệm và mẫu kiểm tra

Trong phạm vi của việc kiểm tra đánh giá, các thành phần mẫu thử nghiệm và/hoặc vật mẫu theo ISO/ASTM 52902 có thể được chế tạo. Các yếu tố sau đây nên được cân nhắc:

- a) các bất thường về bề mặt, ví dụ: các phần nhô ra, lỗ hổng;
- b) các khuyết tật;
- c) nguyên liệu dư (nóng chảy một phần);
- d) màu sắc nhiệt (đặc biệt đối với titan) và/hoặc dấu vết của bột như dấu hiệu của môi trường bảo vệ không đủ;
- e) các lỗ hổng và thiếu liên kết được chứng minh qua hình ảnh vi mô, có thể là kiểm tra chẩn đoán hình ảnh;
- f) độ chính xác kích thước hình học;
- g) các vết nứt.

6.8.2 Đánh giá khu vực in

Có thể thực hiện đánh giá khu vực in để đánh giá chất lượng in theo vị trí trên đế in. Hình 1 là ví dụ về đánh giá kiểm tra siêu âm. Phương pháp NDT cụ thể và chi tiết quy trình nên được xác định.



CHÚ DẪN:

X là tọa độ x, tính bằng milimét

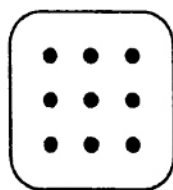
Y1 là tọa độ y, tính bằng milimét

Y2 là công suất tín hiệu, tính bằng %

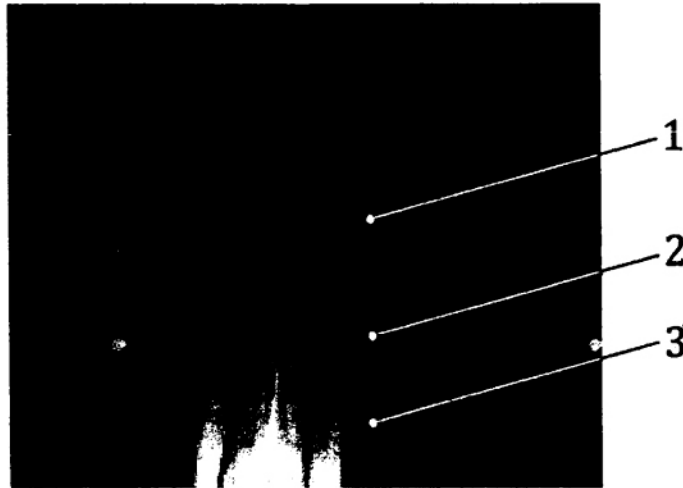
Hình 1 – Ví dụ về kiểm tra siêu âm để đánh giá khu vực in

6.8.3 Kiểm tra dòng khí bằng máy đo gió dây nóng

Một bài kiểm tra bằng máy đo gió dây nóng có thể được thực hiện. Máy đo gió dây nóng là thiết bị dùng để đo vận tốc và hướng của chất lỏng hoặc khí. Điều này được thực hiện bằng cách đo tổn thất nhiệt của dây, dây được đặt trong dòng chất lỏng hoặc khí. Dây được đốt nóng bằng dòng điện. Một ví dụ về các vị trí đo tại đế in được đưa ra trong Hình 2. Một ví dụ về máy đo gió dây nóng trong khu vực in được đưa ra trong Hình 3.



Hình 2 – Ví dụ về các vị trí đo tại đế in

**CHÚ DẪN:**

- 1 bộ điều khiển
- 2 máy đo gió dây nóng
- 3 đế in

Hình 3 – Ví dụ về máy đo gió dây nóng trong buồng in

6.9 Kiểm tra chất lượng lại

Kiểm tra chất lượng phù hợp phải được lặp lại nếu thiết bị được sửa đổi hoặc nếu có những thay đổi lớn về điều kiện vận hành (ví dụ: sửa đổi, sửa chữa hoặc thay thế các linh kiện chính, di dời thiết bị).

Các thay đổi phần mềm có thể yêu cầu kiểm tra chất lượng lại thiết bị.

Các linh kiện chính của thiết bị bao gồm:

- nguồn laze;
- hệ thống khí;
- hệ thống quang học;
- trục di chuyển;
- thiết bị rải bột;
- thiết bị gia nhiệt của đế in.

7 Báo cáo kiểm tra

Kết quả kiểm tra phải được ghi lại đầy đủ. Báo cáo kiểm tra (xem ví dụ trong Phụ lục A) phải bao gồm ít nhất các thông tin sau:

- a) loại và ký hiệu của thiết bị bồi đắp giường bột kim loại bằng laze cho sản xuất bồi đắp;

TCVN 14311:2025

- b) số sê-ri của thiết bị;
- c) điều kiện môi trường và vận hành;
- d) phạm vi kiểm tra (giới hạn liên quan đến vật liệu và vận hành);
- e) kết quả của các bài kiểm tra, xem Điều 6;
- f) ngày thực hiện kiểm tra;
- g) địa điểm thực hiện kiểm tra;
- h) tên của những người thực hiện kiểm tra;
- i) tên của người đã xem xét các phương pháp và kết quả kiểm tra;
- j) nhận xét và các đặc điểm cụ thể;
- k) tham chiếu đến tiêu chuẩn này, ví dụ: TCVN 14311:2025 (ISO/ASTM 52941:2020)

Phụ lục A

(tham khảo)

Ví dụ một báo cáo thử nghiệm**Bảng A.1 – Ví dụ về một báo cáo thử nghiệm**

Thiết bị in nóng chảy giường bột kim loại bằng laze cho sản xuất bồi đắp		
Số thiết bị:		
Nhà sản xuất thiết bị:	Nhà sản xuất laze:	
Tên thiết bị:	Tên laze:	
Số sê-ri thiết bị:	Số sê-ri laze	
Thông số	Kết quả đo (Sai số tối đa) [%]	Giá trị giới hạn theo TCVN 14311 (ISO/ASTM 52941)
Hệ thống quang học		
Kiểm tra công suất laze:		
Kiểm tra độ ổn định công suất laze:		±5%
Kiểm tra hình dạng chùm laze:		
Kiểm tra vị trí tiêu điểm:		
Kiểm tra vị trí chùm laze:		0,06 mm
Độ chính xác của quỹ đạo:		
Tốc độ quét:		±5%
Chuyển động của các nền tảng:		
Để in:		
Nền tảng cấp liệu:		
Chuyển động của thiết bị rải bột:		
Độ chính xác của hệ thống cảm biến:		
Tính kín khí:		
Các mẫu thử và/hoặc hiện vật kiểm tra:		Theo thỏa thuận

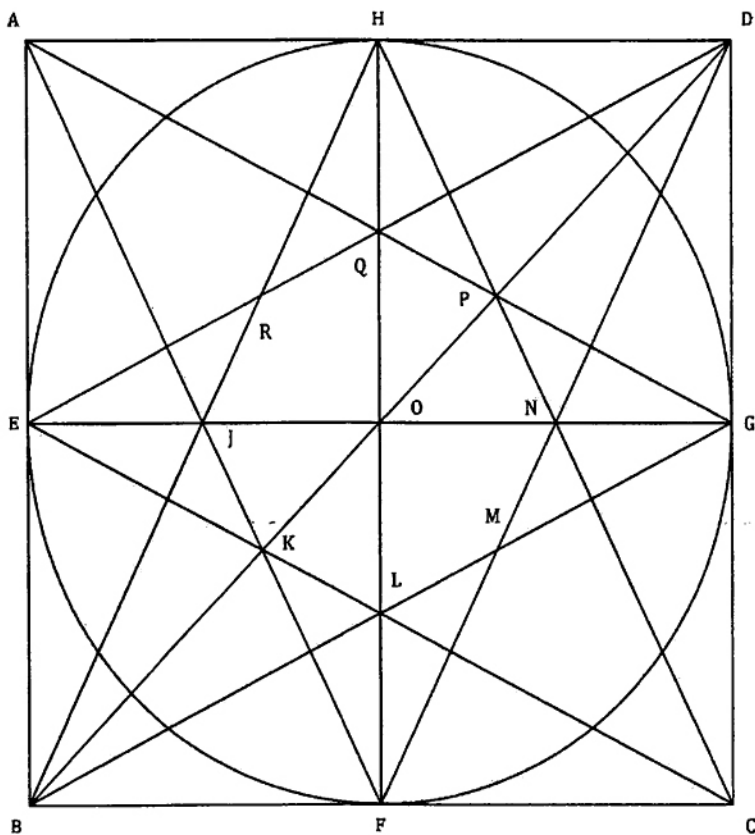
Chữ ký:

Ngày:

Phụ lục B

(tham khảo)

Mẫu hình học cho kiểm tra độ chính xác của quỹ đạo



Dãy quỹ đạo đề xuất: $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow H \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow A \rightarrow G \rightarrow E \rightarrow C \rightarrow G \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow D \rightarrow H \rightarrow F \rightarrow E \rightarrow H \rightarrow G \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow H \rightarrow E \rightarrow F$

Hình B.1 – Mẫu hình học cho kiểm tra độ chính xác của quỹ đạo

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] ISO 11145, *Optics and photonics – Lasers and laser-related equipment – Vocabulary and symbols* (Quang học và photonics – Laze và thiết bị liên quan đến laze – Từ vựng và ký hiệu)
- [2] ISO/IEC 11518-9:1999, *Information technology – High-Performance Parallel Interface – Part 9: Serial specification (HIPPI-Serial)* (Công nghệ thông tin – Giao diện song song hiệu suất cao – Phần 9: Thông số kỹ thuật sê-ri (HIPPI-Serial))
- [3] ISO 11553-1, *Safety of machinery – Laser processing machines – Part 1: Laser safety requirements* (An toàn máy – Máy gia công laze – Phần 1: Yêu cầu về an toàn laze)
- [4] ISO/ASTM 52902, *Additive manufacturing – Test artifacts – Geometric capability assessment of additive manufacturing systems* (Sản xuất bồi đắp – Mẫu thử nghiệm – Đánh giá khả năng hình học của hệ thống sản xuất bồi đắp)
- [5] EN 60204-1, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements* (An toàn máy – Thiết bị điện của máy – Phần 1: Yêu cầu chung)
- [6] EN 60825-1, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements* (An toàn sản phẩm laze – Phần 1: Phân loại và yêu cầu thiết bị)
-