

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ, XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐO KIỂM THÔNG SỐ NGUỒN LASER CÔNG SUẤT CAO

RESEARCH DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SYSTEM FOR HIGH-POWER LASER SOURCE PARAMETER MEASUREMENT

Phan Anh Tuấn¹, Đỗ Thanh Tùng², Cao Khắc Thiện³, Nguyễn Thị Ngọc Linh⁴

¹Phòng Hàn, Kim loại và Vật liệu mới, Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng

²Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt, Viện Nghiên cứu Cơ khí

³Phòng Thí nghiệm Fiber Laser, Viện Ứng dụng Công nghệ

⁴Công ty TNHH Green Laser

TÓM TẮT

Công nghệ gia công sử dụng laser quang sợi công suất cao hiện đang được áp dụng rộng rãi, phổ biến trong nhiều ngành gia công cơ khí như cắt, hàn, phun phủ, khắc, làm sạch,... Tuy nhiên, sau một thời gian sử dụng, các thiết bị tích hợp nguồn laser công suất cao bị giảm hiệu suất, chất lượng. Một trong những nguyên nhân dẫn đến hiện trạng này là thông số nguồn đã bị suy giảm dẫn đến việc hiệu suất, chất lượng làm việc của thiết bị không đạt như ban đầu. Vì thế, việc kiểm tra đánh giá lại thông số của nguồn laser sau một thời gian sử dụng để hiệu chỉnh lại các thông số máy là một nhu cầu thiết yếu trong quá trình sử dụng. Bài báo trình bày một hệ thống đo kiểm các thông số chính của nguồn laser được nhóm tác giả nghiên cứu, xây dựng. Đối tượng được sử dụng để đo kiểm là nguồn laser của hãng IPG với công suất 1000 W. Các kết quả đo kiểm, so sánh, đánh giá được trình bày cụ thể trong nghiên cứu này.

Từ khóa: Laser công suất cao; Đo kiểm laser; Thiết bị đo kiểm thông số laser.

ABSTRACT

Processing technology using high-power fiber lasers is currently widely applied and popular in many mechanical processing industries such as cutting, welding, coating, engraving, cleaning, etc. However, over some time, using devices with integrated high-power laser sources has reduced performance and quality. One of the reasons for this situation is that the source parameters have been reduced, leading to reduced performance and quality, the device's performance is not as good as it was before. Therefore, re-checking and re-evaluating the parameters of the laser source after a period of use to recalibrate the machine parameters is an essential need during use. This article presents a system for measuring and testing the main parameters of laser sources, researched and developed by the authors. In this research, the object used for measurement is a laser source from IPG with a capacity of 1000 W. The results of testing, comparison, and evaluation are presented specifically in this research.

Keywords: High power laser; Laser measure; Laser measure equipment.



1. MỞ ĐẦU

Laser có nhiều ứng dụng quan trọng trên nhiều lĩnh vực khoa học và công nghệ như trong hóa học, vật lý, kỹ thuật, khoa học vật liệu, y học, thông tin lượng tử, quang điện tử, sinh học và khoa học môi trường [1-3]. Với các đặc tính ưu việt như chất lượng chùm tia tốt, độ ổn định cao, giá thành thấp, nhỏ gọn..., laser sợi quang đã được ứng dụng nhiều trong công nghệ gia công vật liệu như cắt, hàn, khắc, làm sạch... [4-8]. Nguồn laser sợi quang công suất cao > 1 kW với các chế độ hoạt động liên tục (CW) hoặc chế độ điều biến xung (Modulated) được ứng dụng rộng rãi ứng dụng cho ngành công nghiệp gia công vật liệu kim loại. Với các tính năng vượt trội so với các loại laser khác như Laser CO₂, Laser YAG thì hiện nay laser quang sợi đang dẫn đầu về thị phần nguồn laser công suất cao trên thế giới theo các nghiên cứu của Future Market Insight (FMI) [9]. Hiện nay ở Việt Nam, công nghệ gia công vật liệu cắt, hàn, khắc, làm sạch bằng laser đang được ứng dụng rộng rãi trong hầu hết các ngành công nghiệp chế tạo. Tuy nhiên, sau một thời gian sử dụng, các nguồn laser công đều có xu hướng bị giảm năng lượng nhưng vẫn chưa có phương pháp đo kiểm, đánh giá chính xác mức độ tổn thất của nguồn laser để qua đó người sử dụng có thể bù lại bằng những cơ cấu khác của máy như phần cơ khí, phần điện, phần điều khiển. Vì vậy, nghiên cứu này là một phương pháp mới để qua đó có thể xác định chính xác tổn hao của nguồn laser theo thời gian, làm tiền đề cho việc căn chỉnh, thay đổi các thông số máy phù hợp để nâng cao hiệu suất, chất lượng của thiết bị trong quá trình sử dụng.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

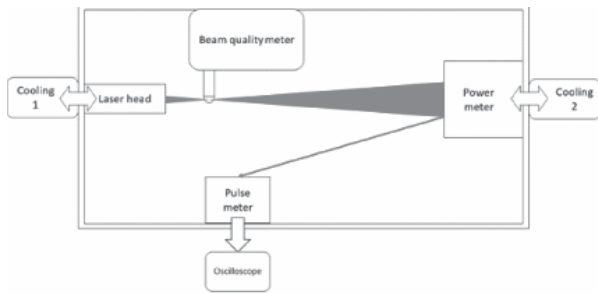
Trong nghiên cứu này, đối tượng sử dụng để đánh giá là nguồn laser của hãng IPG

với công suất đầu ra 1000 W. Bảng 1 mô tả các thông số của nguồn laser IPG-YLS 1000CUT.

Bảng 1. Thông số nguồn Laser IPG – YLS 1000CUT

Tên thông số	Đơn vị đo	Mô tả chính
Bước sóng	nm	1070 ± 5
Chế độ hoạt động		CW/ Modulated
Tần số	Hz	200 – 5000
Công suất đầu ra tối đa	W	1000
Dải điều chỉnh công suất	%	10 – 100
Độ ổn định công suất	%	± 2
Đường kính lõi	μm	50
Chất lượng chùm tia	mm x mrad	< 4
Nguồn điện cấp	VAC	400 V/3 Pha ± 10%, 50/60 Hz
Phương thức làm mát		Nước
Nhiệt độ làm việc	°C	20 – 50
Độ ẩm không khí	%	40 – 90
Kích thước (D x R x C)	mm	1004 x 804 x 556

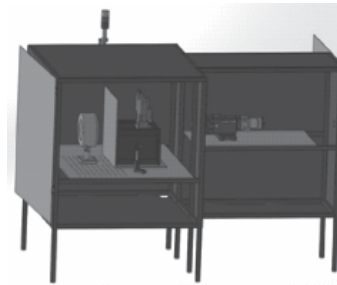
Các thông số chính của nguồn laser sẽ được đo kiểm bao gồm công suất nguồn, tần số hoạt động, độ rộng xung, chất lượng chùm tia. Hệ thống đo kiểm được tính toán, thiết kế, xây dựng là sự tích hợp của các thiết bị chuyên dụng như thiết bị đo công suất, thiết bị đo tần số, thiết bị đo xung nhằm đo kiểm chính xác các thông số đặc trưng của các nguồn laser được sử dụng để nghiên cứu. Hình 2 mô tả sơ đồ cấu hình thiết bị của hệ thống đo kiểm nguồn laser.



Hình 1. Sơ đồ khối hệ thống đo kiểm các thông số của nguồn laser.

Để đo kiểm thông số của nguồn laser, nhóm nghiên cứu đã sử dụng thiết bị đo chất lượng chùm tia của hãng Primes có mã hiệu FM+ với công suất đo kiểm cho phép lên tới 25000 W và phù hợp với nhiều bước sóng trong đó có bước sóng của fiber từ 850 nm đến 1080 nm. Tiếp theo, để kiểm tra công suất nguồn laser phát ra, nhóm nghiên cứu sử dụng hệ thống thiết bị đo của Ophir với mã hiệu PD 11kW và NoVa II với dải đo công suất lên tới 11000 W và dải bước sóng có thể dùng cho nhiều loại laser trong đó có fiber với bước sóng ~ 1100 nm. Ngoài ra, để kiểm tra chính xác tần số hoạt động và các chế độ hoạt động của nguồn laser, nhóm nghiên cứu sử dụng hệ thống High Speed PD kết hợp với thiết bị hiển sóng (Oscilloscope) để thu và phân tích tín hiệu

xung phát ra của nguồn laser. Hình 2 mô tả thiết kế 3D và thiết bị chế tạo thực tế của hệ thống đo kiểm.



(a)



(b)

Hình 2. Hệ thống đo kiểm: (a) Thiết kế 3D, (b) Hệ thống đo sau khi chế tạo

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đo kiểm công suất laser và độ ổn định công suất

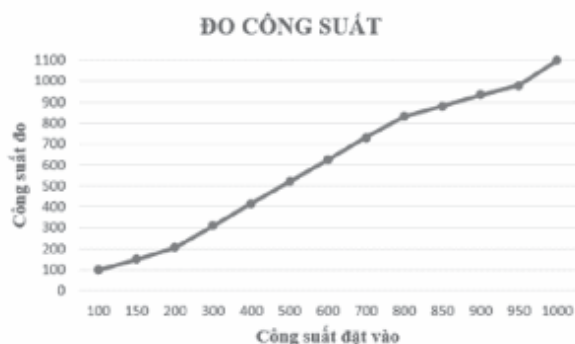
Nguồn laser với lõi ra HLC-8 sau khi đi ra khỏi nguồn laser với chùm tia phân kỳ được dẫn hướng vào hệ thấu kính chuẩn trực tạo ra chùm tia song song, tiếp đó sẽ được dẫn hướng vào thấu kính hội tụ để cho ra chùm tia hội tụ và đi vào thiết bị đo công suất bên trong hệ thống.

Bảng 2. Công suất nguồn laser IPG đo khi đo bằng hệ thống

Công suất đặt vào (W)	100	150	200	300	400	500	600
Công suất đo (W)	98	149	205	310	415	520	625
Công suất đặt vào (W)	700	800	850	900	950	1000	
Công suất đo (W)	730	830	880	935	980	1100	

Công suất đầu ra của nguồn laser được đo lại với hệ thống đo của nhóm nghiên cứu. Bảng 2 thể hiện các giá trị đo thực tế, Hình 3 mô tả đồ thị so sánh công suất đầu vào và công suất đầu ra khi đo bằng hệ thống thực tế.

Với kết quả đo được từ hệ thống cho thấy, công suất đặt vào và công suất đo thực tế gần như tương đương và giống với kết quả mà nhà sản xuất đã công bố với sai số trung bình là 3,36%, sai số lớn nhất là 10%. 

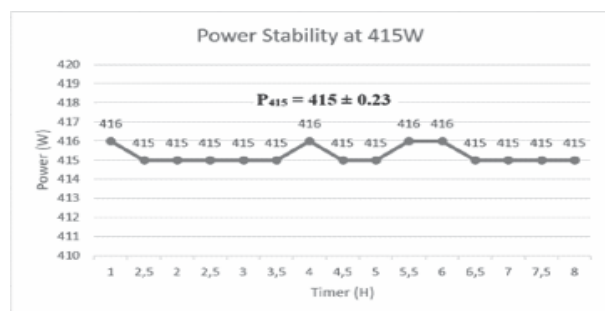


Hình 3. Đồ thị so sánh công suất đặt vào và công suất đo thực tế (W)

Để xác định được độ ổn định của nguồn laser trong lúc hoạt động, nhóm nghiên cứu đã sử dụng bộ thiết bị đo và hiển thị công suất nguồn laser và đo liên tục trong vòng 8 giờ với tần số lấy mẫu là 0,5 giờ. Bảng 3 thể hiện giá trị công suất laser thực tế trong 8 giờ hoạt động liên tục, hình 4 là đồ thị thể hiện độ ổn định công suất nguồn laser trong vòng 8 giờ hoạt động liên tục (Công suất $P = 415$ W, tần số $f = 5000$ Hz, Duty = 100%).

Bảng 3. Giá trị công suất laser hoạt động liên tục trong vòng 8 giờ

Timer, h	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Power, W	416	415	415	415	415	415	416	415
Timer, h	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	
Power, W	415	416	416	415	415	415	415	



Hình 4. Đồ thị độ ổn định công suất laser IPG trong 8 giờ liên tục

Từ kết quả thu được cho thấy độ ổn định công suất của hệ thống thu được bằng hệ thống đo khi hoạt động liên tục trong vòng 8 giờ nằm trong phạm vi cho phép theo thông số đưa ra của nhà sản xuất.

3.2. Đo xung và tần số hoạt động của nguồn laser

Với đặc tính hoạt động ở chế độ CW/Modulated và dải tần số hoạt động từ 200 – 5000 Hz. Để đo kiểm chính xác thông số này

của nguồn laser IPG, nhóm đã sử dụng bộ thiết bị đo chuyên dụng bao gồm: Cảm biến tốc độ cao của hãng Hamamatsu (High Speed PD), thiết bị hiển sóng (Oscilloscope).

Với bộ thiết bị chuyên dụng trên cho phép nhóm nghiên cứu thu được tín hiệu xung phát ra của nguồn laser trong quá trình hoạt động. Hình 5a là kết quả đo tần số nguồn laser khi cài đặt ở 200 Hz và Hình 5b là kết quả đo tần số nguồn laser khi cài đặt ở 5000 Hz với thông số nguồn laser được cài đặt (Công suất $P = 500$ W, Duty = 100%).



(a)



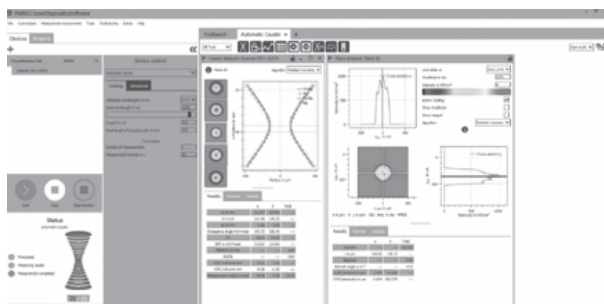
(b)

Hình 5. Kết quả đo tần số của nguồn laser IPG:
(a) 200 Hz, (b) 5000 Hz

Với kết quả thu được như hình 5 cho thấy hệ đo đã xác định đúng tần số đầu ra của nguồn laser khi cài đặt với các mức tần số khác nhau ở đầu vào.

3.3. Đo thông số chất lượng chùm tia của nguồn laser

Thông số M^2 của nguồn laser là một trong những thông số quan trọng để làm cơ sở đánh giá chất lượng nguồn laser. Để xác định được thông số M^2 của nguồn laser được chế tạo, nhóm nghiên cứu đã sử dụng thiết bị đo với model FM+ của hãng Primes. Với bộ thông số nguồn laser đã được cài đặt (Công suất $P = 500$ W, Duty = 100%), Hình 6 mô tả kết quả đo thông số M^2 của nguồn laser.



Hình 6. Kết quả đo thông số M^2 của nguồn laser IPG

Kết quả thu được từ Primes FM+ cho thấy kết quả chất lượng chùm tia của nguồn laser được xác định với $M^2 \sim 2,5$ mm x mrad

thỏa mãn thông số của nhà sản xuất đưa ra là $M^2 < 4$ mm x mrad.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày các kết quả nghiên cứu thiết kế xây dựng hệ thống đo kiểm các thông số chính của nguồn laser IPG – YLS 1000CUT. Các kết quả thu được cho thấy, các thông số đo thực tế có các giá trị gần như tương đương với các thông số của nhà sản xuất công bố: Công suất laser có sai số trung bình là 3,36%, sai số lớn nhất là 10%; độ ổn định công suất laser tại 500 W được duy trì ổn định trong suốt 8 giờ thử nghiệm; tín hiệu xung của nguồn laser đảm bảo ở các tần số 200 và 5000 Hz; chất lượng chùm tia của nguồn laser được xác định thông qua chỉ số M^2 đảm bảo < 4 mm x mrad. Kết quả của nghiên cứu cho thấy tiềm năng ứng dụng của hệ thống đo kiểm này trong việc phát triển công nghệ laser công suất cao tại Việt Nam.

Lời cảm ơn:

Nhóm tác giả xin cảm ơn Phòng Thí nghiệm trọng điểm Công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt, Phòng Thí nghiệm Fiber Laser, Viện Ứng dụng Công nghệ đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: 16/10/2023

Ngày phản biện: 18/11/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. X. Yu, et al. (2014), “Laser-induced breakdown spectroscopy application in environmental monitoring of water quality: A review”, Environ. Monit. Assess., 186(12), pp.8969-80.
- [2]. L. Fiorani, et al. (2010), “Environmental monitoring by laser radar”, Romanian Journal of Physics, 56(3), pp.448-459.



- [3]. L.F. Viana, et al. (2019), “Use of fish scales in environmental monitoring by the application of Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS)”, *Chemosphere*, 228, pp.258-263.
- [4]. <https://www.sme.org/technologies/articles/2016/february/fiber-lasers-continue-to-gain-market-share-in-material-processing-applications/>.
- [5]. <https://www.laserfocusworld.com/industrial-laser-solutions/article/14215551/highpower-fiber-lasers-gain-market-share>.
- [6]. N.Z. Michalis, et al. (2014), “High power fiber lasers: A review”, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 20(5), pp.219-241.
- [7]. C.P. Katherine, et al. (2015), “Ultrafast laser processing of materials: A review”, *Advances in Optics and Photonics*, 7(4), pp.684-712.
- [8]. S. Popov (2009), “Chapter 7: Fiber laser overview and medical applications”, *Tunable Laser Applications*, CRC Press.
- [9]. Future Market Insights, “Fiber Laser Market: Elevating Frequency of Conventional Laser Replacements in Material Processing Applications to Support Growth: Global Industry Analysis 2013 - 2018 and Opportunity Assessment, 2019 – 2027”.