

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO TRẠM LẮP RÁP THỦ CÔNG CÓ THỂ TÙY BIẾN THEO NHÂN TRẮC HỌC

RESEARCH THE DESIGN AND MANUFACTURE OF MANUAL ASSEMBLY WORKSTATIONS THAT CAN BE CUSTOMIZED ACCORDING TO ANTHROPOMETRY

NGÔ VƯƠNG QUỐC¹, PHẠM VĂN QUỲNH¹, NGUYỄN THỊ MINH ANH¹,
ĐÀM VĂN TÙNG², PHẠM VĂN TRIỆU^{2*}

¹Sinh viên Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: phamvantrieu@vimar.edu.vn

Tóm tắt

Duy trì và nâng cao hiệu suất làm việc của công nhân tại các khu vực lắp ráp trong các dây chuyền sản xuất là một trong những vấn đề quan trọng trong việc gia tăng tính hiệu quả trong sản xuất công nghiệp hiện nay. Do đó, việc giảm tải các thao tác trong quá trình làm việc, xây dựng một không gian phù hợp với vóc dáng và tư thế của từng công nhân là nhu cầu cần thiết đối với các doanh nghiệp sản xuất hiện nay. Từ những vấn đề còn tồn tại và các nhu cầu về tính hiệu quả trong công việc, bài báo tập trung vào việc nghiên cứu thiết kế và kiểm tra độ bền trạm lắp ráp thủ công dành cho công nhân.

Từ khóa: Trạm lắp ráp thủ công, nhân trắc học, thiết kế, mô phỏng, thực nghiệm.

Abstract

Maintaining and improving the working efficiency of workers in assembly areas in production lines is one of the important issues in increasing efficiency in industrial production today. Therefore, reducing the load of operations during the working process and building a space suitable for the physique and posture of each worker is a necessary need for today's manufacturing enterprises. From the existing problems and needs for work efficiency, the article focuses on researching the design and testing the durability of manual assembly stations for workers.

Keywords: Manual assembly station, anthropometric, design, simulation, experimentation.

1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh ngày nay, sự cạnh tranh khốc liệt trong ngành sản xuất hiện đại đặt ra một thách thức lớn đối với các doanh nghiệp, đặc biệt là trong việc tối

ưu hóa quá trình sản xuất và tăng cường hiệu suất lao động của công nhân. Trong nhiều ngành công nghiệp, quy trình lắp ráp thủ công vẫn rất phổ biến và đóng vai trò quan trọng trong sản xuất. Tuy nhiên, vấn đề lớn là làm thế nào để cải thiện hiệu suất và chất lượng sản phẩm trong khi vẫn giữ được tính linh hoạt và sự cá nhân hóa trong quy trình sản xuất. Đồng thời, việc giảm thiểu căng thẳng và nguy cơ tai nạn cho công nhân cũng là một ưu tiên hàng đầu.

Nghiên cứu [1] đã thực hiện thiết kế trạm lắp ráp công thái học dựa trên mô hình số hướng tới cải thiện sức khỏe của người công nhân. Bài báo [2] đề cập đến ảnh hưởng của chỉ số BMI khi thực hiện công việc tại trạm lắp ráp thủ công. Rojas và cộng sự [3] đã đưa ra một phương pháp tiếp cận giảm thiểu quỹ đạo giặt đối với các trạm lắp ráp liên hoàn nhằm bảo vệ tâm lý công nhân. Trong khi đó, nghiên cứu [4] đã xây dựng khung đánh giá ảnh hưởng của công thái học khi thiết kế trạm lắp ráp trong các nhà máy. Một nghiên cứu khác chỉ ra rằng việc dùng gương phản chiếu giúp công nhân thoải mái hơn trong quá trình làm việc và nâng cao hiệu quả sản xuất [5]. Nhìn chung, các nghiên cứu về công thái học đều chỉ ra cần thiết phải có trạm lắp ráp thủ công có thể tùy biến theo nhân trắc học nhằm nâng cao hiệu quả làm việc của công nhân.

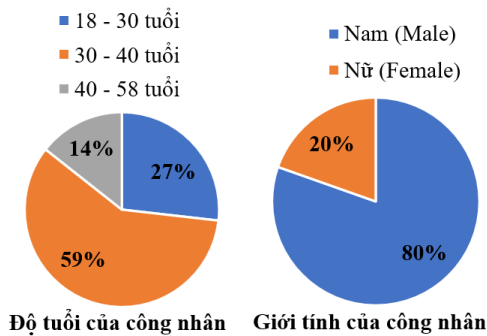
Việc thiết kế trạm lắp ráp cần được khảo sát thực trạng làm việc của công nhân, nhu cầu của các doanh nghiệp để đưa ra mô hình phù hợp với sản xuất và nhân trắc học người Việt Nam. Độ bền và khả năng chịu tải các bộ phận của trạm lắp ráp cũng cần được tính toán kỹ lưỡng trong quá trình thiết kế.

Bài báo tập trung vào việc nghiên cứu thiết kế và chế tạo trạm lắp ráp thủ công có thể tùy biến theo nhân trắc học. Cấu trúc của bài báo ngoài phần Đặt vấn đề đã được trình bày, trong Phần 2 phân tích hiện trạng trạm lắp ráp thủ công dựa trên dữ liệu khảo sát thực tế; Phần 3 trình bày về thiết kế trạm lắp ráp; Việc phân

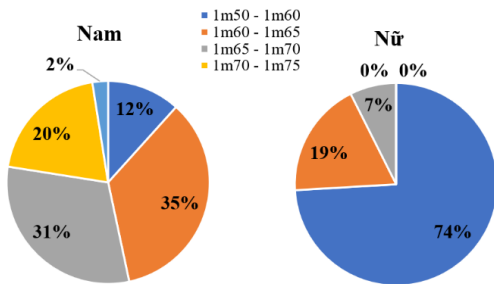
tích độ bền trạm lắp ráp được trình bày trong Phần 4; Phần 5 trình bày kết luận của bài báo và đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo.

2. Phân tích hiện trạng trạm lắp ráp thủ công

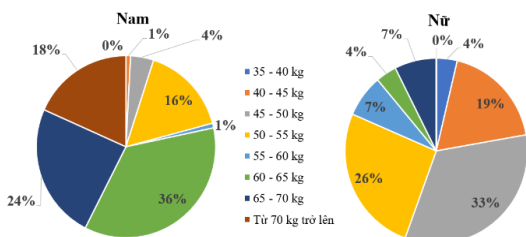
Trong các ngành sản xuất công nghiệp, phương pháp lắp ráp thủ công là một phương pháp phổ biến và được áp dụng một cách rộng rãi đối với các doanh nghiệp sản xuất trong và ngoài nước. Bởi so với việc đầu tư các hệ thống dây chuyền sản xuất tự động, việc thiết lập các trạm lắp ráp thủ công không đòi hỏi chi phí đầu tư ban đầu cao, phương pháp này cũng rất linh hoạt và dễ dàng để các công nhân điều chỉnh và thích ứng với các yêu cầu sản xuất thay đổi.



Hình 1. Kết quả khảo sát về độ tuổi của công nhân



Hình 2. Kết quả khảo sát về chiều cao của công nhân



Hình 3. Kết quả khảo sát về cân nặng của công nhân

Hiện nay, tại một số doanh nghiệp sản xuất có sử dụng phương pháp lắp ráp thủ công, công nhân phải đối mặt với nhiều thách thức ảnh hưởng đến hiệu suất sản xuất. Đa phần các trạm lắp ráp thủ công chưa thực sự tối ưu hóa, không có chức năng tùy biến để điều chỉnh chiều cao thao tác, vị trí hộp đựng chi tiết chưa phù hợp để công nhân có tư thế tốt nhất trong quá trình

sản xuất. Điều đó dẫn đến sự bất tiện và gây ra các vấn đề bệnh lý về xương khớp cho người công nhân.

Theo số liệu khảo sát từ 20 công ty trong sản xuất công nghiệp có sử dụng phương pháp lắp ráp thủ công trong các dây chuyền sản xuất do nhóm tác giả thực hiện, có thể thấy được rằng, tỉ lệ công nhân nam đứng tại các khu vực lắp ráp chiếm 80%, trong khi số lượng công nhân nữ chiếm 20%. Độ tuổi công nhân chiếm số lượng lớn nhất dao động trong khoảng từ 30-40 tuổi. Chiều cao và cân nặng của công nhân cũng là 2 chỉ số được khảo sát được chú ý tới trong quá trình khảo sát (Hình 1 đến Hình 3).

Đối với các trạm làm việc sử dụng phương pháp lắp ráp thủ công các công nhân sẽ phải đứng hoặc ngồi trong thời gian dài để thực hiện các thao tác, chính những lí do này sẽ khiến cho cơ thể của người công nhân cảm thấy mệt mỏi từ đó năng suất làm việc sẽ không được hiệu quả như ban đầu. Tình trạng người công nhân thấy đau mỏi lưng, cổ chiếm phần trăm cao nhất. Tiếp đến là đau gót và bàn chân cùng với đó là những tình trạng mỏi mắt do ánh sáng của môi trường làm việc; đau, nhức đầu gối; đau, mỏi khuỷu tay cũng có tỉ lệ phần trăm khá cao.

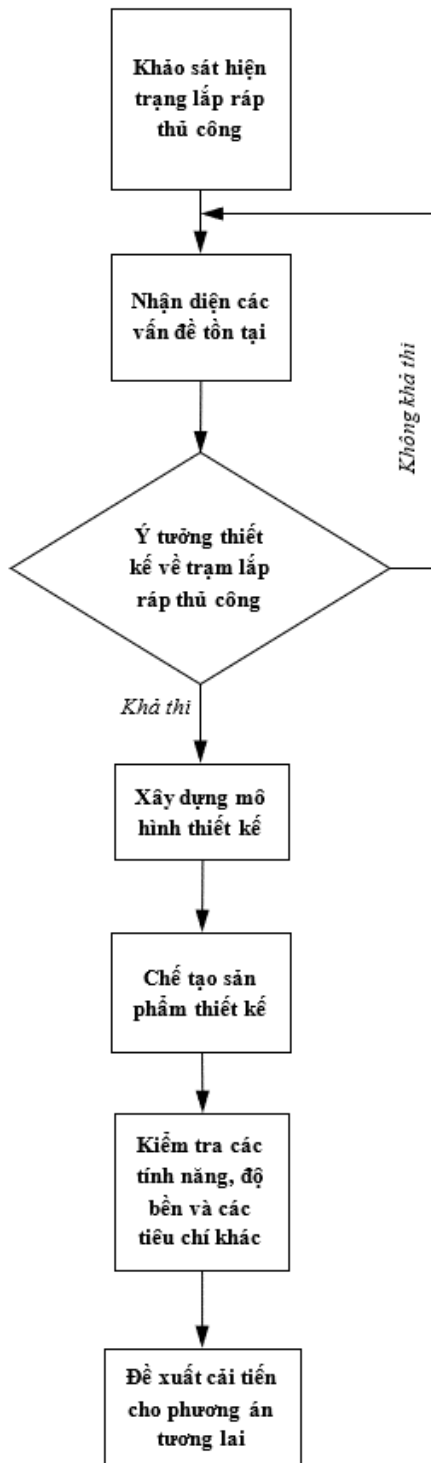
Dựa trên hiện trạng tồn tại về phương pháp lắp ráp thủ công hiện nay, nhóm tác giả đề xuất phương án thiết kế trạm lắp ráp có khả năng tùy chỉnh các vị trí để linh động, phù hợp với bản thân người công nhân hơn trong quá trình sản xuất.

3. Thiết kế và chế tạo trạm lắp ráp

3.1. Quy trình thiết kế

Vấn đề thiết kế về trạm lắp ráp được lên kế hoạch và xây dựng dựa trên nhu cầu thực tế về việc cải tiến năng suất hoạt động của người lao động trong quá trình lắp ráp thủ công. Để giải quyết vấn đề này, bài báo đã tiến hành thu thập các dữ liệu khảo sát về tình trạng của phương pháp lắp ráp thủ công hiện nay tại các doanh nghiệp về sản xuất công nghiệp. Trong đó, đặc điểm nhân trắc học của người Việt Nam được phân tích nhằm xây dựng mô hình phù hợp nhất [6]. Từ kết quả và số liệu thu thập được kết hợp với việc nghiên cứu các tài liệu thiết kế, tham khảo ý kiến chuyên gia, chúng tôi đã tiến hành phân tích, đánh giá và đưa ra các ý tưởng về việc thiết kế trạm lắp ráp thủ công dành cho công nhân. Các ý tưởng thiết kế tập trung vào việc giảm thiểu các thao tác không cần thiết của công nhân trong quá trình lắp ráp và áp dụng các phương pháp Poka Yoke cho việc hạn chế các lỗi lắp ráp nhằm hoặc thiếu chi tiết của công nhân. Quá trình

thiết kế và chế tạo trạm lắp ráp thủ công có thể tùy biến theo nhân trắc học được thể hiện trên Hình 4.



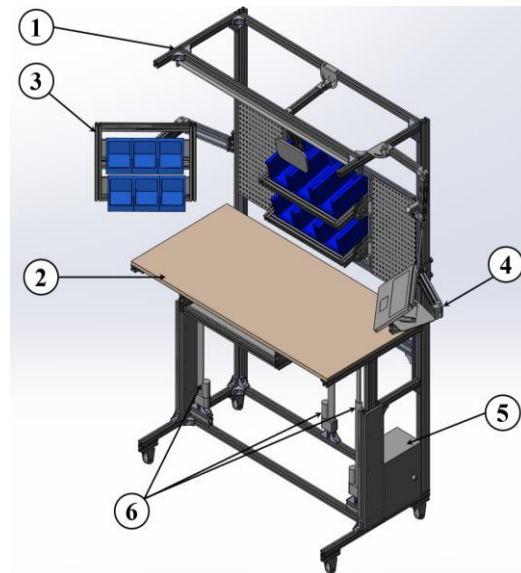
Hình 4. Quy trình thiết kế trạm lắp ráp thủ công

3.2. Thiết kế trạm lắp ráp

Trạm lắp ráp thủ công là một phần trong dây chuyền sản xuất, là nơi các công nhân thực hiện các

công việc lắp ráp sản phẩm bằng tay hoặc được hỗ trợ từ các thiết bị cơ khí đơn giản. Tùy thuộc vào các sản phẩm sản xuất, sẽ đòi hỏi người công nhân có những thao tác khác nhau trong quá trình lắp ráp.

Trong nghiên cứu này nhóm tác giả đề xuất mô hình thiết kế trạm lắp ráp, trong đó cho phép hỗ trợ tối đa các thao tác của công nhân trong quá trình thực hiện lắp ráp. Trên Hình 5 mô tả kết cấu của trạm lắp ráp thủ công, trong đó bao gồm các chi tiết được thể hiện trong Bảng 1. Trên trạm lắp ráp này, chiều cao mặt bàn, chiều cao giá đỡ trung tâm được tùy chỉnh lên xuống nhờ vào các xy lanh điện. Trong khi đó, hai cánh tay có thể điều chỉnh linh động theo nhiều hướng, mặt bàn cũng có thể kéo ra vào để phù hợp với không gian làm việc.



Hình 5. Mô hình thiết kế trạm lắp ráp

Bảng 1. Kết cấu trạm lắp ráp

| TT | Chi tiết |
|----|--------------------------------------|
| 1 | Khung kết cấu định hình trạm lắp ráp |
| 2 | Bàn làm việc của công nhân |
| 3 | Tay đỡ chi tiết lắp ráp |
| 4 | Tay đỡ màn hình máy tính |
| 5 | Hệ thống điện của trạm |
| 6 | Xy lanh điện |

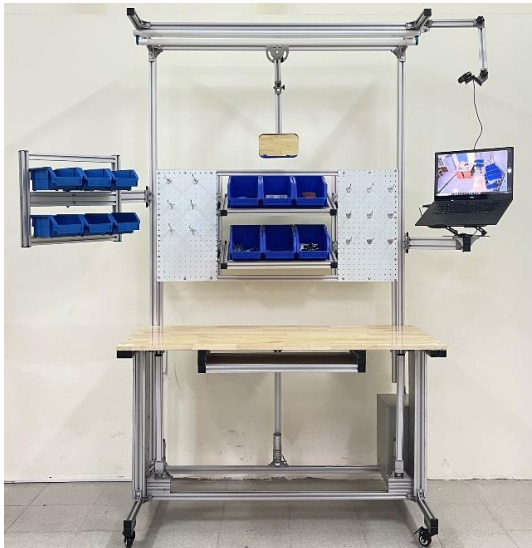
Có thể thấy được rằng, với kết cấu mô hình thiết kế đề xuất trạm lắp ráp thủ công đã hỗ trợ được rất nhiều thao tác cho công nhân trong quá trình làm việc. Từ đó giảm tải khả năng mệt mỏi cũng như tâm lý chán nản trong quá trình làm việc của người công nhân.

3.3. Chế tạo trạm lắp ráp

Theo mô hình thiết kế trạm lắp ráp đề xuất, nhóm tác giả đã xây dựng các bản vẽ chi tiết phục vụ cho việc gia công và chế tạo sản phẩm. Vật liệu chế tạo được lựa chọn dựa theo các tiêu chuẩn về độ bền và khả năng đáp ứng với nhu cầu hoạt động của trạm lắp ráp. Trong đó, phần khung kết cấu chiếm khối lượng lớn nhất được sử dụng thép định hình để chế tạo sản phẩm.

Sau quá trình gia công chế tạo hình chi tiết, chúng tôi tiến hành lắp ráp các chi tiết tạo hình sản phẩm trạm lắp ráp thủ công theo mô hình thiết kế ban đầu.

Để phục vụ cho việc chế tạo và lắp đặt theo mô hình kết cấu đề xuất, chúng tôi đã sử dụng các công cụ gia công cơ khí như cắt, mài, doa, khoan, taro ren, tiện,... Sản phẩm chế tạo trạm lắp ráp thủ công được thể hiện trên Hình 6.



Hình 6. Sản phẩm trạm lắp ráp sau chế tạo

4. Phân tích độ bền trạm lắp ráp

Mô hình phân tích

Dựa trên mô hình thiết kế của trạm lắp ráp, nhóm tác giả tiến hành phân tích và đánh giá các vị trí chịu tải trọng nguy hiểm trong quá trình vận hành. Theo mô hình thực tế có thể thấy được rằng các vị trí lưu trữ chi tiết và vật liệu phục vụ cho việc lắp ráp là những khu vực chịu các tải thay đổi liên tục do quá trình lấy ra và cung cấp vật liệu. Do đó cần tập trung đánh giá về khả năng bền của kết cấu tại các khu vực này (Hình 6).

Tại vị trí số 3 và số 4 của mô hình trạm lắp ráp thể hiện kết cấu của 2 cánh tay của trạm lắp ráp phục vụ cho việc nâng hạ các chi tiết lắp ráp cũng như màn hình máy tính laptop phù hợp cho thao tác của người

công nhân. Với đặc điểm là liên kết kết cấu của 2 khu vực này có 1 đầu là liên kết gối di động với khung kết cấu của Mô hình và đầu còn lại được thả tự do để đảm bảo khả năng nâng hạ. Do đó, đây là 2 khu vực kết cấu cần chú ý tới tính bền trong quá trình vận hành. Xét về mặt tải trọng tác dụng lên kết cấu tại 2 khu vực này có thể thấy được, với cánh tay số 3 là khu vực chịu tải của các vật liệu chi tiết để công nhân thực hiện thao tác lấy ra và lắp ráp. Tại cánh tay này, mức độ tải sẽ thay đổi liên tục tùy thuộc vào năng suất làm việc của công nhân. Với cánh tay số 4 theo thiết kế của mô hình, tải trọng tác dụng lên kết cấu chỉ do khối lượng của máy tính tác dụng lên, không có sự thay đổi đáng kể nào về độ lớn tải trọng trong quá trình thay đổi.

Bên cạnh đó, theo thực tế khi khảo sát hoạt động của trạm lắp ráp, nhóm tác giả nhận thấy rằng, cánh tay số 3 là khu vực kết cấu cần chú ý cho việc đảm bảo tính bền. Vì vậy, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tập trung phân tích độ bền kết cấu của cánh tay số 3 với tải trọng được xác định dựa theo các trạng thái có thể mà kết cấu sẽ phải chịu trong quá trình hoạt động.

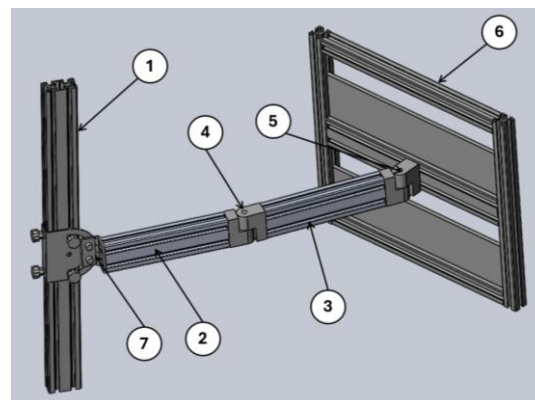
Thiết lập bài toán mô phỏng

Để tính toán và kiểm tra độ bền của kết cấu cánh tay trạm lắp ráp, nhóm tác giả kết hợp kiểm tra thực nghiệm và sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) thông qua công cụ mô phỏng số Solidworks simulation. Việc ứng dụng phần tử hữu hạn vào việc tính bền kết cấu đã được nhiều nghiên cứu sử dụng. Trong đó, kết cấu sẽ bị phá hủy trong trường hợp ứng suất cực đại của kết cấu lớn giá trị ứng suất cho phép của vật liệu (1).

$$\sigma_{\max} < [\sigma], \text{MPa} \quad (1)$$

Mô hình 3D

Trên Hình 7 thể hiện mô hình 3D sử dụng cho việc tính toán và kiểm tra độ bền kết cấu của cánh tay số 3.



Hình 7. Mô hình 3D cánh tay trạm lắp ráp

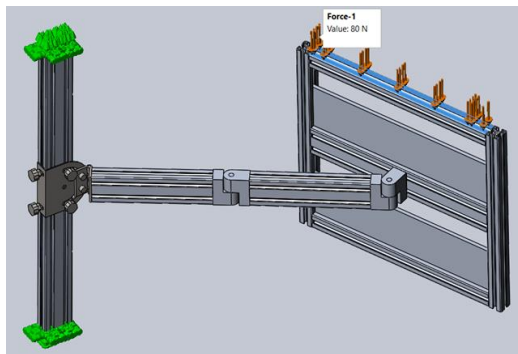
Bảng 2. Thông tin vật liệu kết cấu cánh tay số 3

| TT | Chi tiết | Vật liệu | Giới hạn chảy (Mpa) |
|----|-------------------|------------------------|---------------------|
| 1 | Càng tay | Nhôm định hình 6063-T5 | 145 |
| 2 | Khung đỡ thiết bị | Nhôm định hình 6063-T5 | 145 |
| 3 | Chốt xoay | Thép inox 304 | 205 |
| 4 | Khớp bản lề | Thép inox 304 | 205 |

Kết cấu của cánh tay số 3 bao gồm (Hình 7): khung đỡ thiết bị chi tiết (1); 2 càng tay (2, 3). Trong đó, 2 càng tay và khung đỡ thiết bị (6) được liên kết với nhau thông qua các chốt xoay (4, 5) và cánh tay được liên kết với khung trạm lắp ráp thông qua khớp bản lề (7).

Điều kiện biên

Dựa trên hoạt động thực tế của trạm lắp ráp, bài toán thiết lập các gối cố định tại các vị trí mặt trên và mặt dưới của cột khung kết cấu (Hình 8).



Hình 8. Sơ đồ tải trọng và điều kiện biên của mô hình

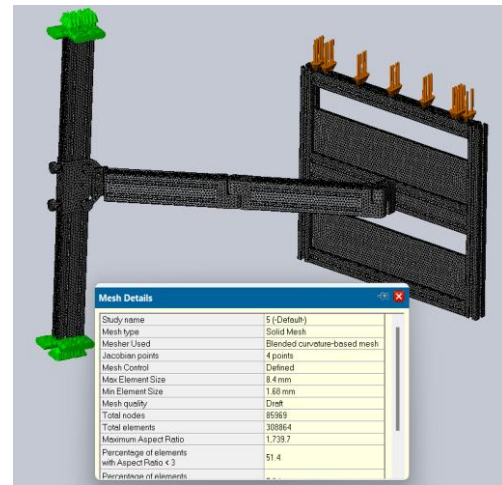
Tải trọng

Các tải trọng tác dụng lên kết cấu cánh tay tập trung tại vị trí của khung đỡ chi tiết. Xét về trạng thái hoạt động của kết cấu cánh tay, nhóm tác giả tập trung tính toán độ bền kết cấu tại trạng thái 2 cánh tay nằm thẳng cùng nhau, do đây là trạng thái tạo ra mô men lực lớn nhất trong quá trình hoạt động. Dựa trên khảo sát thực tế, bài báo tiến hành đánh giá độ bền kết cấu của cánh tay thông qua các giá trị tải trọng lần lượt là 50N, 60N, 70N, 80N và 90N (Hình 8).

Lưới tính toán

Bài báo sử dụng mô hình Blended Curvature-based Mesh [7] cho việc chia lưới tính toán. Với giá trị lưới lớn nhất và nhỏ nhất lần lượt là 1,68mm và

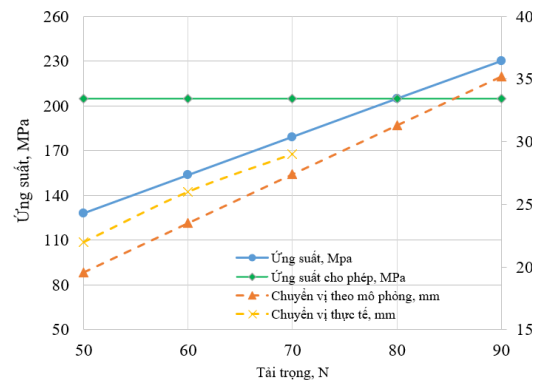
8,4mm (Hình 9). Phạm vi chia lưới hoàn toàn đảm bảo phủ kín kích thước bề mặt của các chi tiết trong kết cấu.



Hình 9. Hình ảnh và thông số lưới tính toán

Kết quả và thảo luận

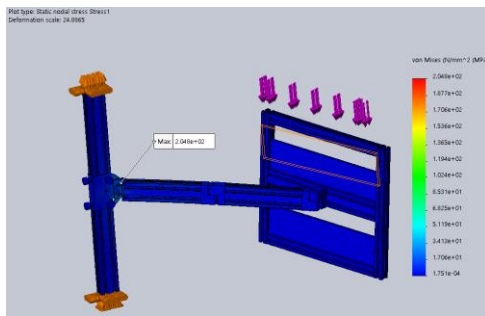
Kết quả tính toán cho 5 trường hợp tải trọng được thể hiện trên Hình 10. Trong đó, có thể thấy được rằng với tải trọng 80N kết cấu cánh tay sẽ bắt đầu bị phá hủy tại vị trí khớp bản lề liên kết với khung của trạm lắp ráp với (Hình 11).



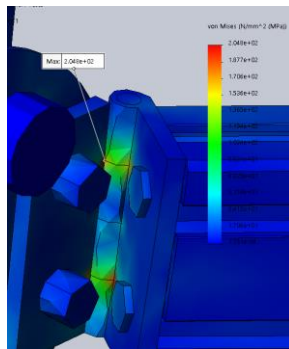
Hình 10. Kết quả giá trị ứng suất cực đại và chuyển vị cực đại tại 5 trường hợp tải trọng

Kết quả về giá trị chuyển vị của tính toán mô phỏng hoàn toàn phù hợp với kết quả thực nghiệm khảo sát về độ bền cánh tay của trạm lắp ráp thực tế. Trên Hình 12a, b thể hiện biểu đồ giá trị phân bố chuyển vị theo tính toán mô phỏng và độ lệch chuyển vị của mô hình thực tế đối với tải trọng 70N. Giá trị sai số về kết quả thu được tại 2 phương pháp là 6%.

Kết quả của nghiên cứu cho phép các kỹ sư thiết kế xem xét sử dụng các chi tiết vật liệu phù hợp với các trạng thái hoạt động của trạm lắp ráp.

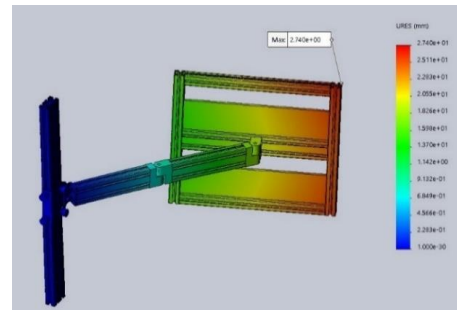


a)

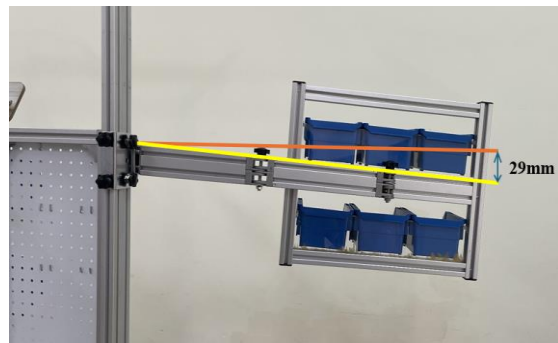


b)

Hình 11. Biểu đồ phân bố ứng suất và vị trí ứng suất cực đại tại trường hợp tải trọng 80N



a)



b)

Hình 12. Kết quả chuyển vị tại trường hợp tải trọng 70N theo mô phỏng (a) và thực nghiệm (b)

5. Kết luận

Bài báo đã đưa ra ý tưởng thiết kế về mô hình trạm lắp ráp thủ công có thể tùy biến theo nhân trắc học cho công nhân trong quá trình làm việc tại các đơn vị sản xuất công nghiệp. Từ ý tưởng thiết kế bài báo đã xây dựng lên quy trình thiết kế chế tạo trạm lắp ráp, đồng thời tiến hành phân tích, đánh giá và kiểm tra độ bền kết cấu của trạm lắp ráp trong quá trình hoạt động. Bài báo hiện tại đang tập trung vào việc nghiên cứu thiết kế phần cơ khí của trạm lắp ráp thủ công, để xử lý các bài toán về nhận diện thao tác và hoạt động của công nhân, cần xem xét tới việc thiết kế hệ thống điều khiển các cơ cấu. Các vấn đề này sẽ được nhóm tác giả xem xét và tiến hành ở các nghiên cứu tiếp theo.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Công ty Cổ phần Công nghệ cao và Dịch vụ phần mềm FaceNet; Công ty Cổ phần Tư vấn cải tiến đầu tư và Kết nối Việt-Nhật (VJIP).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Alipour, P., et al. (2021), *Ergonomic design of manual assembly workstation using digital human modeling*. Annals of global health, Vol.87(1).
- [2] Hamilton, M., et al. (2015), *Effects of BMI and task parameters on postural sway during*

simulated small parts assembly. Ergonomics, Vol.58(3), pp.504-512.

- [3] Rojas, R.A., et al. (2019), *A variational approach to minimum-jerk trajectories for psychological safety in collaborative assembly stations*. IEEE Robotics and Automation Letters, Vol.4(2), pp.823-829.
- [4] Colim, A., et al. (2020), *Towards an ergonomic assessment framework for industrial assembly workstations-A case study*. Applied Sciences, Vol.10(9): p.3048.
- [5] Lutz, T.J., et al. (2001), *The use of mirrors during an assembly task: a study of ergonomics and productivity*. Ergonomics, Vol.44(2): pp.215-228.
- [6] <https://inhunter.com/chi-so-nhan-trac-nguoi-viet-nam>.
- [7] Lavoué, G., F. Dupont, and A. Baskurt (2005), *A new CAD mesh segmentation method, based on curvature tensor analysis*. Computer-Aided Design, Vol.37(10), pp.975-987.

| | |
|--------------------|------------|
| Ngày nhận bài: | 09/04/2024 |
| Ngày nhận bản sửa: | 14/04/2024 |
| Ngày duyệt đăng: | 17/04/2024 |