

ỨNG DỤNG LÝ THUYẾT THIẾT KẾ TIÊN ĐỀ VÀO THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO MỘT THIẾT BỊ NHIỆT ĐỊNH HÌNH

NGUYỄN KHOA TRIỀU, NGUYỄN CAO THÔNG, NGUYỄN VĂN TRUNG, TRẦN ANH TUẤN,
NGUYỄN QUANG VINH, TRẦN THANH VŨ

*Khoa Công nghệ Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh,
nguyenkhoatrieu@iuh.edu.vn*

Tóm tắt. Trong bài báo này, các tác giả tổng hợp và phân tích những công trình nghiên cứu trên thế giới ứng dụng lý thuyết thiết kế tiên đề (ADT), cả về phạm vi áp dụng và những ưu nhược điểm. Sau khi những lợi ích mà ADT có thể mang lại cho việc thiết kế nói riêng và nghiên cứu khoa học nói chung được hiểu rõ, lý thuyết ADT được chuyển ngữ, biên dịch từ sách gốc của tác giả. Theo đó, thiết kế theo tiên đề là xem xét thiết kế một cách khoa học, để từ đó cung cấp một khung nền cơ bản để hiểu các hoạt động thiết kế. Thiết kế tiên đề bao gồm một số khái niệm cơ bản - miền và ánh xạ, phân cấp, đích dắc, độc lập và thông tin. Nhiệm vụ thiết kế có thể được biểu diễn dưới dạng ánh xạ giữa các miền. Các nhà thiết kế lập bản đồ từ các yêu cầu của những gì họ muốn bản thiết kế có thể thực hiện được tới các giải pháp về cách bản thiết kế sẽ đạt được những điều đó. Khi thực hiện thiết kế, các yêu cầu ở cấp cao và rộng được chia nhỏ hoặc phân tách thành các yêu cầu phụ nhỏ hơn, sau đó được thỏa mãn bởi các giải pháp phụ. Khi các nhà thiết kế chọn giải pháp, họ sử dụng hai tiên đề thiết kế để đánh giá chất lượng của các giải pháp. Do đó, thiết kế tiên đề cung cấp hướng dẫn về cách đưa ra quyết định tốt, hứa hẹn sẽ là một công cụ mạnh cho công tác thiết kế trong nước. Sau cùng, để nắm vững lý thuyết, ADT được vận dụng vào thiết kế một thiết bị nhiệt định hình. Tuy nhiên, trong tình huống học thuật (casestudy) này, chỉ tiên đề 1, tiên đề về duy trì tính độc lập của các yêu cầu chức năng được ứng dụng; do đó, hướng nghiên cứu tiếp theo sẽ là tối ưu hóa kết cấu chức năng của một hoặc vài linh kiện trong thiết bị, ứng dụng tiên đề 2, tiên đề về giảm thiểu các nội dung thông tin.

Từ khóa. Lý thuyết thiết kế tiên đề, Miền thiết kế, Ánh xạ, Đích dắc, Tiên đề độc lập, Nhiệt định hình.

APPLICATION OF AXIOMATIC DESIGN THEORY IN THERMOFORMING APPARATUS DESIGN AND FABRICATION

Abstract. In this article, the authors synthesized and analyzed research papers that utilized axiomatic design theory (ADT), both in scope of applications and pros and cons. After the benefits of ADT for design in particular and scientific research in general were carefully investigated, ADT was studied and translated from the author's original book. Accordingly, the axiomatic design is to consider the design in a scientific way, thereby providing a basic framework to understand design activities. ADT includes some basic concepts - domain and mapping, hierarchy, zigzagging, the independence axiom and the information axiom. Design tasks can be represented as mappings between domains. Designers map from the requirements of what they want to achieve to possible solutions. As the design progresses, broad, high level requirements are decomposed into smaller sub-requirements, which are then fulfilled by sub-solutions. When designers choose solutions, they utilize two design axioms to evaluate the quality of these solutions. Therefore, the axiomatic design provides guidance on how to make good decisions, promising to be a powerful tool for design activities in Vietnam. Finally, to master the theory, ADT is applied to the design of a thermoforming device. However, in this casestudy, only axiom 1, axiom of maintaining the independence of functional requirements was utilized; therefore, the next research will be to optimize the functional structures of the device, using the axiom 2, the axiom of minimizing information content.

Keywords. Axiomatic design theory, Design domain, Mapping, Zigzagging, Independence axiom, Thermoforming.

1 GIỚI THIỆU

Công việc thiết kế là một khâu rất quan trọng trong chuỗi tạo hình nói riêng và hoàn thiện sản phẩm nói chung. Hiện nay có rất nhiều phần mềm dùng để phân tích phần tử hữu hạn cả trong việc phân tích lực, tính toán bền lẫn tối ưu hóa. Trong khi đó, việc thiết kế các hệ thống máy, dù đã có một số công cụ hỗ trợ như cây ý tưởng, ma trận lựa chọn, thiết kế cho sản xuất (DFM – design for manufacturing), thiết kế cho lắp ráp (DFA – design for assembly), phương pháp ngôi nhà chất lượng (phương pháp triển khai chức năng chất lượng – Quality Function Deployment – QFD),..., nhưng vẫn chưa thành hệ thống, chủ yếu vẫn dựa trên phương pháp thử và sai, tạo mẫu - thử nghiệm – chỉnh sửa, (...), cho đến các phương án dựa trên những đánh giá chủ quan, quản lý chưa chặt chẽ các thông tin thiết kế [1], ... Từ đó, việc nghiên cứu, phát triển các lý thuyết thiết kế mới là một đòi hỏi cấp thiết. Xuất phát từ nhu cầu đó, giáo sư Nam Pyo Suh từ MIT, Hoa Kỳ, thiết lập một lý thuyết thiết kế kỹ thuật theo các quy luật nhất định, cung cấp một cơ sở khoa học và có tính hệ thống để đưa ra quyết định thiết kế [2]. Thiết kế theo tiên đề là xem xét thiết kế một cách khoa học, từ đó cung cấp một khung nền cơ bản để hiểu các hoạt động thiết kế [3, 4].

Lý thuyết thiết kế theo tiên đề (Axiomatic Design Theory – ADT) ngay sau khi được giáo sư Nam Pyo Suh phát triển và giới thiệu năm 2001 [2] đã được ứng dụng rộng rãi. Ngay trong năm 2001, Kwangduk D. Lee và các cộng sự từ Mỹ đã ứng dụng thành công ADT để phát triển một máy mài CMP (Chemical-Mechanica Polishing) ở quy mô công nghiệp. Máy sau đó hoạt động mà không gặp phải lỗi nào đáng kể, và được xem là một ví dụ về áp dụng ADT cho giảng dạy [5]. Beom-Seon Jang và các cộng sự đến từ Hàn Quốc cũng dùng lý thuyết này để thiết kế cánh quạt tàu thủy. Sau thành công bước đầu này, họ sẽ áp dụng ADT vào thiết kế tàu thủy [6]. I. Ferrer và các cộng sự từ Tây Ban Nha thì kết hợp DFM và ADT nhằm khắc phục những nhược điểm của DFM, lượng hóa các quyết định thiết kế, loại bỏ những đánh giá – cho điểm cảm tính, trong chế tạo một thanh truyền trong động cơ [1]. Trong cùng năm 2009, R.J. Urbanic và các cộng sự từ Canada, cũng áp dụng ADT để phát triển một loại thanh truyền trong động cơ, trong đó có rất nhiều không gian cho các cải tiến tiếp theo theo yêu cầu thị trường [7]. Trong lúc đó, tại Trung Quốc, Dunbing Tang và các cộng sự [4] dùng ADT để giải quyết điểm hạn chế của phương pháp thiết kế dùng ma trận (Design Structural Matrix – DSM) đó là rất khó đưa ra ma trận thiết kế đối với các sản phẩm mới, chưa được thiết kế lần nào. Được xuất bản trên tạp chí hàng đầu về chế tạo máy và kỹ thuật sản xuất là The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Feng-Tsai Weng & Shien-Ming Jenq từ Đài Loan [8] đã áp dụng thành công ADT vào sản xuất cấp tốc (Agile Manufacturing), một hình thức phát triển cao của sản xuất tinh gọn (Lean Manufacturing). Ngoài lĩnh vực sản xuất, ADT còn được áp dụng thành công vào nghiên cứu lưu chất, vi cầu hỗn hợp nước - dầu [9], hay thiết kế và chế tạo robot vệ sinh đường ống [3]. Ngoài các nước kể trên, ADT còn được các nhà nghiên cứu ở rất nhiều nơi khác trên thế giới sử dụng. Ở Thổ Nhĩ Kỳ, Osman Kulak và các cộng sự [10] nghiên cứu 63 bài báo ISI có sử dụng ADT (tính đến năm 2010) và đưa ra kết luận rằng ADT là một công cụ thiết kế mạnh mẽ, cả khi dùng độc lập lẫn khi kết hợp với các phương pháp thiết kế khác. Một điển hình cho việc sử dụng ADT để khắc phục những hạn chế của các phương pháp thiết kế có sẵn là Jose' Antonio Carnevalli và các cộng sự đến từ Brazil [11] dùng ADT để khắc phục 3 yếu điểm chính của phương pháp ngôi nhà chất lượng (phương pháp triển khai chức năng chất lượng – Quality Function Deployment – QFD) bao gồm (1) khó diễn đạt nhu cầu của khách hàng, (2) khó xác định và định thứ tự ưu tiên các đặc tính chất lượng và (3) khó xử lý những ma trận có kích thước lớn. Trong khi đó, António M. Gonçalves-Coelho và các cộng sự [12] đến từ Bồ Đào Nha thì dùng ADT để giải quyết những khó khăn trong việc thiết kế một cần trục cầu hàng. Còn Hadi Kandjani và các cộng sự đến từ Iran [13] thì tìm cách mở rộng ADT để sử dụng cho việc phát triển phần mềm. Gần đây, tương tự như [8], Erik Puik và Dareks Ceglarek từ Hà Lan [14] kết hợp thành công phương pháp sản xuất cấp tốc (Agile Development Method – ADM) và ADT. Hay Panday H. và Bhattacharya B. Đến từ Ấn Độ [15] kết hợp thành công ADT và TRIZ. Và còn nhiều, nhiều nữa những nhà nghiên cứu trên thế giới vận dụng thành công ADT vào thiết kế, nghiên cứu lý thuyết cũng như thực tế sản xuất.

ADT, lý thuyết thiết kế theo tiên đề, đã được ứng dụng rộng rãi trên thế giới gần 20 năm nay, rất nhiều những nhà nghiên cứu trên thế giới vận dụng thành công ADT vào thiết kế, nghiên cứu lý thuyết cũng như thực tế sản xuất. ADT có thể được dùng độc lập hoặc kết hợp với các lý thuyết thiết kế khác để bổ trợ

cho nhau, tùy trường hợp cụ thể. Thế nhưng, ADT vẫn chưa được biết tới tại nước ta. Từ những lý do nêu trên, việc tìm hiểu và bước đầu vận dụng ADT vào công tác thiết kế tại Việt Nam là một việc cấp thiết. Tiếp theo đó, dựa vào kết quả nghiên cứu lý thuyết cũng như tính toán, thiết kế, vận dụng lý thuyết mới này, đưa ra được những kết luận và khuyến nghị về việc nghiên cứu sâu hơn lý thuyết thiết kế mới này cũng như vận dụng nó vào học thuật lẫn công nghiệp.

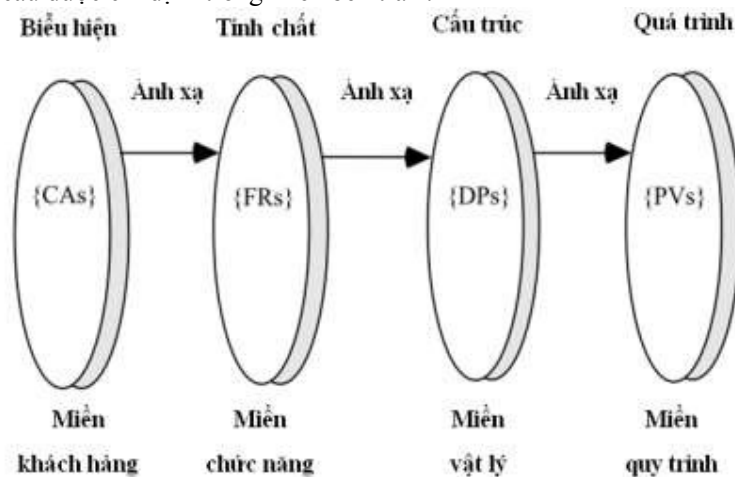
Như đã mô tả, phương pháp thiết kế theo tiên đề là 1 bước ngoặt trong cơ sở thiết kế giúp giảm thiểu thời gian thiết kế tính toán các thông số dẫn đến số lần lặp sai – thử giảm đi đáng kể. Lý thuyết này đã thực hiện thành công và được áp dụng ở nhiều công trình trên thế giới cho hầu hết các ngành nghề kỹ thuật và sinh học, nếu được nghiên cứu, tìm hiểu và ứng dụng thành công hứa hẹn sẽ có một công cụ mạnh cho việc thiết kế các hệ thống máy, cả khi dùng độc lập hoặc dùng như một công cụ hỗ trợ cho các phương pháp thiết kế hiện nay.

2 PHƯƠNG PHÁP

2.1 Phương pháp thiết kế tiên đề - ADT

Đầu tiên, quá trình thiết kế, đi từ nhu cầu của khách hàng đến sản phẩm / quá trình hoàn chỉnh. Thiết kế bao gồm một sự tương tác giữa “những gì chúng ta muốn đạt được” và “cách (những gì) chúng ta chọn để thỏa mãn nhu cầu”. Để hệ thống hóa quá trình tư duy liên quan đến sự tương tác này, khái niệm về các miền tạo ra ranh giới giữa bốn loại hoạt động thiết kế khác nhau, từ đó tạo ra một nền tảng quan trọng cho thiết kế theo tiên đề.

Việc thiết kế được tạo thành từ bốn miền: miền khách hàng, miền chức năng, miền vật lý và miền quá trình. Cấu trúc miền được minh họa bằng sơ đồ trong hình 1. Miền bên trái đại diện cho "những gì chúng ta muốn đạt được", có liên quan đến miền bên phải, đại diện cho giải pháp thiết kế, "cách chúng ta đề xuất để đáp ứng các yêu cầu được chỉ định trong miền bên trái".

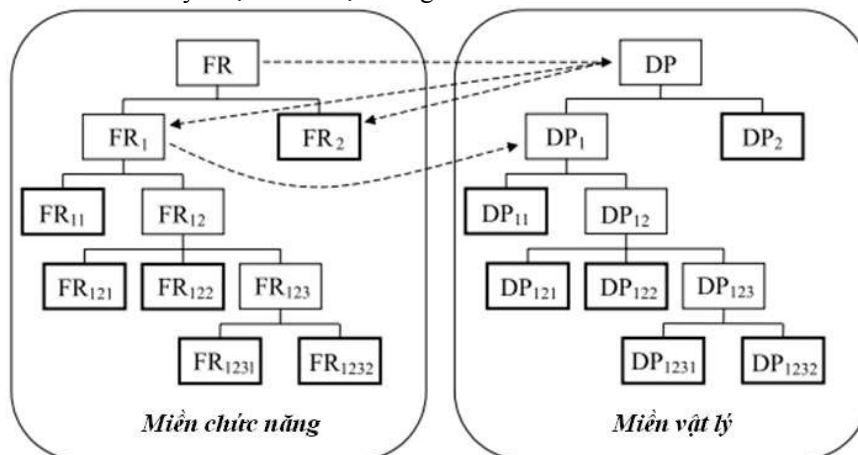


Hình 1. Bốn miền của thiết kế [2].

Miền khách hàng được đặc trưng bởi các thuộc tính (Customer Attributes - CAs) mà khách hàng đang tìm kiếm trong sản phẩm hoặc quy trình hoặc hệ thống hoặc vật liệu. Trong miền chức năng, nhu cầu của khách hàng được chuyển thành các yêu cầu chức năng (Functional Requirements - FRs) và các ràng buộc (Constraints - Cs). Để đáp ứng các FRs cụ thể, chúng ta cần phải xác định được các tham số thiết kế (Design Parameters - DPs) trong miền vật lý. Cuối cùng, để sản xuất sản phẩm được chỉ định theo DPs, chúng ta cần phải phát triển một quy trình được đặc trưng bởi các biến quy trình (Process Variables - PVs) trong miền quy trình.

Các yêu cầu chức năng FRs và các tham số thiết kế DPs phải được phân tách / phân rã (zigzagging) đến mức cuối cùng cho đến khi chúng tạo thành một hệ thống phân cấp. Để phân rã các FRs và DPs, chúng ta phải ánh xạ (mapping) giữa các miền. Đó là, chúng ta bắt đầu trong miền “cái gì – what”, đi đến miền

“như thế nào – how”. Phần này được minh họa trong hình 2.



Hình 2. Ánh xạ để phân tách FRs và DPs [2].

Lý thuyết ADT được giáo sư Nam Pyo Suh [2] phát triển dựa trên các tiên đề. Tiên đề là những nền tảng cơ bản cho các định lý, định luật, trong lý thuyết ADT này, việc thiết kế dựa trên hai tiên đề. Tiên đề thiết kế đầu tiên được gọi là tiên đề độc lập (the Independent Axiom) và tiên đề thứ hai được gọi là tiên đề thông tin (the Information Axiom). Chúng được phát biểu như sau [2, 10]:

Tiên đề 1. Tiên đề độc lập: Duy trì tính độc lập của các yêu cầu chức năng.

Tiên đề 2. Tiên đề thông tin: Giảm thiểu các nội dung thông tin.

*Tiên đề 1. Tiên đề độc lập: Duy trì tính độc lập của các yêu cầu chức năng.

Tiên đề độc lập khẳng định phải luôn duy trì sự độc lập của các yêu cầu chức năng (Functional Requirements - FRs), trong đó FRs được định nghĩa là tập hợp tối thiểu các yêu cầu độc lập đặc trưng cho mục tiêu thiết kế. Về mặt toán học, mối quan hệ giữa FRs và DPs được thể hiện qua công thức:

$$\{FR\} = |A| \{DP\} \quad (1)$$

Trong đó:

{FR} là vectơ yêu cầu chức năng;

{DP} là vectơ tham số thiết kế;

|A| là ma trận đặc trưng của thiết kế.

Tổng quát lại, mỗi phần tử a_{ij} của ma trận A kết nối FR thứ i với DP thứ j .

Cấu trúc ma trận |A| xác định loại thiết kế đang xem xét. Để đáp ứng tiên đề độc lập, ma trận |A| cần phải tách rời (uncoupled) – nói cách khác là ma trận chéo hoặc khử ghép (decoupled) để được ma trận chéo.

*Tiên đề 2. Tiên đề thông tin: Giảm thiểu các nội dung thông tin.

Tiên đề thông tin nói rằng, trong số những thiết kế thỏa mãn tiên đề độc lập, thiết kế có nội dung thông tin nhỏ nhất là thiết kế tốt nhất. Thông tin được định nghĩa là nội dung thông tin, I_i , là dạng đơn giản nhất của xác suất đáp ứng các FRs đã cho. Nội dung thông tin I_i cho một FR_i đã cho được xác định như sau:

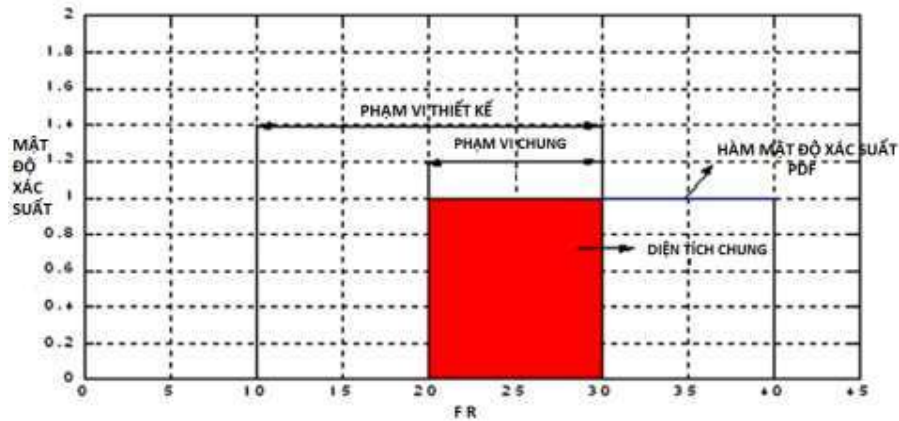
$$I_i = \log_2 \left(\frac{1}{p_i} \right) \quad (2)$$

Với p_i là xác suất đạt được yêu cầu chức năng FR_i và log là logarit bậc 2 (với đơn vị bits).

Trong bất kỳ thiết kế nào, khả năng thành công của thiết kế phụ thuộc vào những gì nhà thiết kế muốn đạt được – biểu thị bởi dung sai (phạm vi thiết kế) và những gì hệ thống có khả năng cung cấp (phạm vi hệ thống).

Như được trình bày trong hình 3, khoảng giao nhau giữa “phạm vi thiết kế” và “phạm vi hệ thống” là khu vực tồn tại giải pháp chấp nhận được. Do đó, hàm phân phối xác suất đồng nhất p_i có thể được viết là:

$$p_i = \left(\frac{\text{phạm vi chung}}{\text{phạm vi hệ thống}} \right) \quad (3)$$



Hình 3. Phạm vi thiết kế, phạm vi hệ thống, phạm vi chung và hàm mật độ xác suất PDF của một FR [2, 10].

Do đó, nội dung thông tin được tính bằng:

$$I_i = \log_2 \left(\frac{\text{phạm vi hệ thống}}{\text{phạm vi chung}} \right) \quad (4)$$

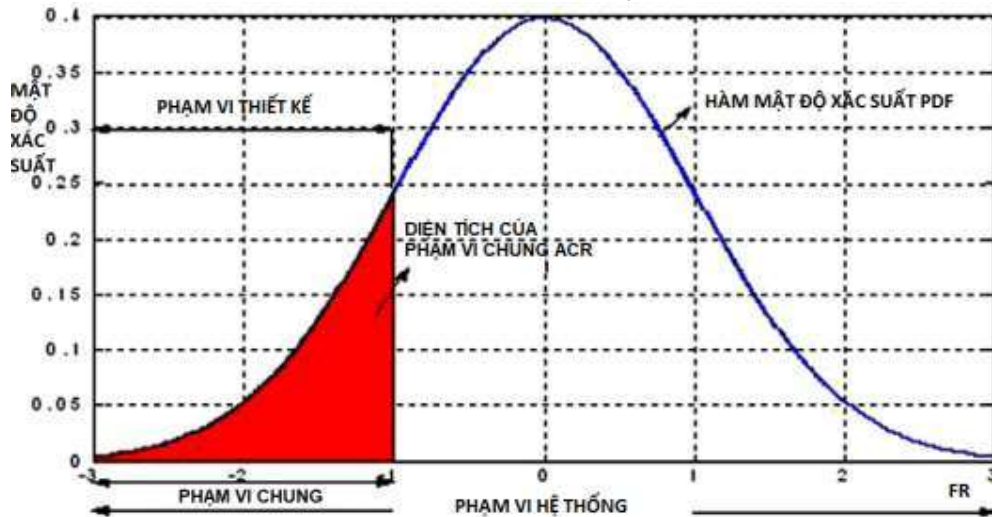
Nếu FR_i là biến ngẫu nhiên liên tục, xác suất đạt được FR_i trong phạm vi thiết kế có thể được biểu thị như sau:

$$p_i = \int_{dr^1}^{dr^u} p_s(FR_i) \cdot dFR_i \quad (5)$$

Trong đó $p_s(FR_i)$ là PDF (hàm mật độ xác suất) của hệ thống cho FR_i . Phương trình (5) cho ta xác suất thành công bằng cách lấy tích phân PDF của hệ thống trên toàn bộ phạm vi thiết kế (tức là từ giới hạn dưới của phạm vi thiết kế, dr^1 , đến giới hạn trên của phạm vi thiết kế, dr^u). Trong hình 4, diện tích của phần chung A_{cr} bằng với xác suất thành công p_i .

Do đó, nội dung thông tin bằng:

$$I = \log_2 \left(\frac{1}{A_{cr}} \right) \quad (6)$$



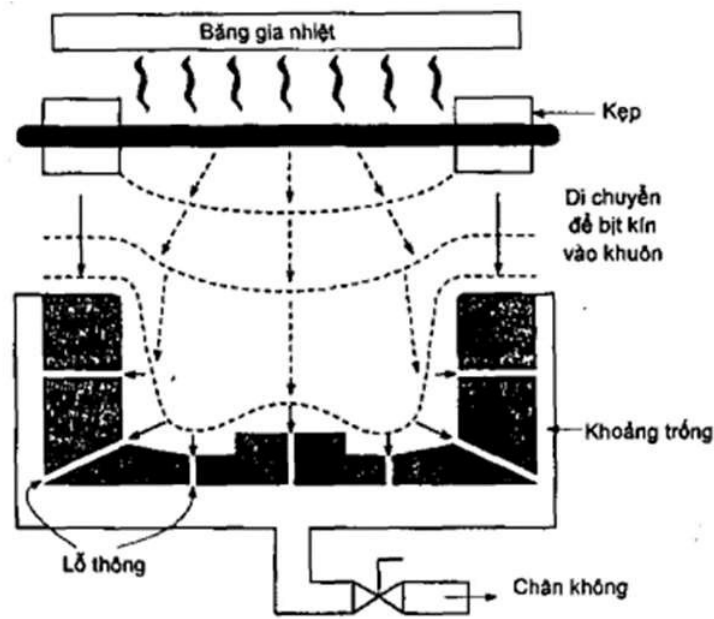
Hình 4. Phạm vi thiết kế, phạm vi hệ thống, phạm vi chung và hàm mật độ xác suất PDF của một FR [2, 10].

2.2 Phương pháp nhiệt định hình

Ép phun (injection molding) và nhiệt định hình (thermoforming) là hai trụ cột của ngành nhựa [16]. Trong đó, nhiệt định hình có quy trình và thiết bị đơn giản hơn, hoạt động tại nhiệt độ thấp hơn nên được chọn cho áp dụng ADT trong nghiên cứu này. Lý thuyết ADT đã được nghiên cứu tìm hiểu và vận dụng vào

phân tích kết cấu một thiết bị nhiệt định hình. Nguyên lý được lựa chọn là nhiệt định hình dùng tạo hình chân không cơ bản, hình 5. Tạo hình chân không cơ bản là một phương pháp tạo hình chân không đơn giản nhất mà trong đó chỉ có chân không được sử dụng để ép chất dẻo nóng áp vào bề mặt khuôn [16]. Trong kỹ thuật gia công này, vật liệu được kẹp chặt vào trong một khung, có tác dụng giữ vật liệu xung quanh chu vi của nó. Sau đó vật liệu được đốt nóng và đạt đến trạng thái dẻo thì nó được di chuyển đến vị trí mà nó bịt kín khuôn.

Trong phương pháp gia công này, khuôn là một khuôn âm hay khuôn khoang. Khi tấm chất dẻo đã bịt kín khuôn, thông qua ống hút, chân không ngay lập tức được áp dụng ở phía sau khuôn, qua khoảng trống giữa khuôn và tấm chất dẻo (còn đang nóng). Chân không nối với khoang khuôn qua những lỗ thông nhỏ đã được khoan qua thành khuôn. Khi chân không được đưa vào hoạt động thì vật liệu chất dẻo được kéo xuống áp sát vào thành khoang khuôn tạo thành chi tiết in hình của lòng khuôn.



Hình 5. Tạo hình bằng chân không cơ bản [16]

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Dùng ADT phân tích kết cấu thiết bị nhiệt định hình

Từ nguyên lý hoạt động như trên, thiết bị nhiệt định hình được phân tách thành các yêu cầu chức năng và các chi tiết vật lý để thực hiện chúng như minh họa trong hình 6. Xuất phát điểm của yêu cầu chức năng FR là “chế tạo được sản phẩm nhiệt định hình mẫu”. Tương ứng với yêu cầu chức năng này là thực thể trong miền vật lý DP “thiết bị nhiệt định hình”, hay nói cách khác, ánh xạ của yêu cầu chức năng FR “chế tạo được sản phẩm nhiệt định hình mẫu” qua miền vật lý là DP “thiết bị nhiệt định hình”.

Sau đó, yêu cầu chức năng FR được phân rã thành các yêu cầu chức năng thứ cấp:

- FR₁: Tấm có kích thước A5
- FR₂: Tấm plastic được kẹp chặt
- FR₃: Tấm plastic được gia nhiệt
- FR₄: Tấm plastic di chuyển tiếp xúc với khuôn
- FR₅: Tấm plastic được tạo hình
- FR₆: Sản phẩm được lấy ra dễ dàng

Một cách tương ứng, thực thể trong miền vật lý DP “thiết bị nhiệt định hình” cũng được phân rã để đáp ứng các yêu cầu chức năng trên:

DP₁: Các tấm kẹp có kích thước A5

DP₂: Cơ cấu kẹp

DP₃: Bộ gia nhiệt

DP₄: Cơ cấu trượt

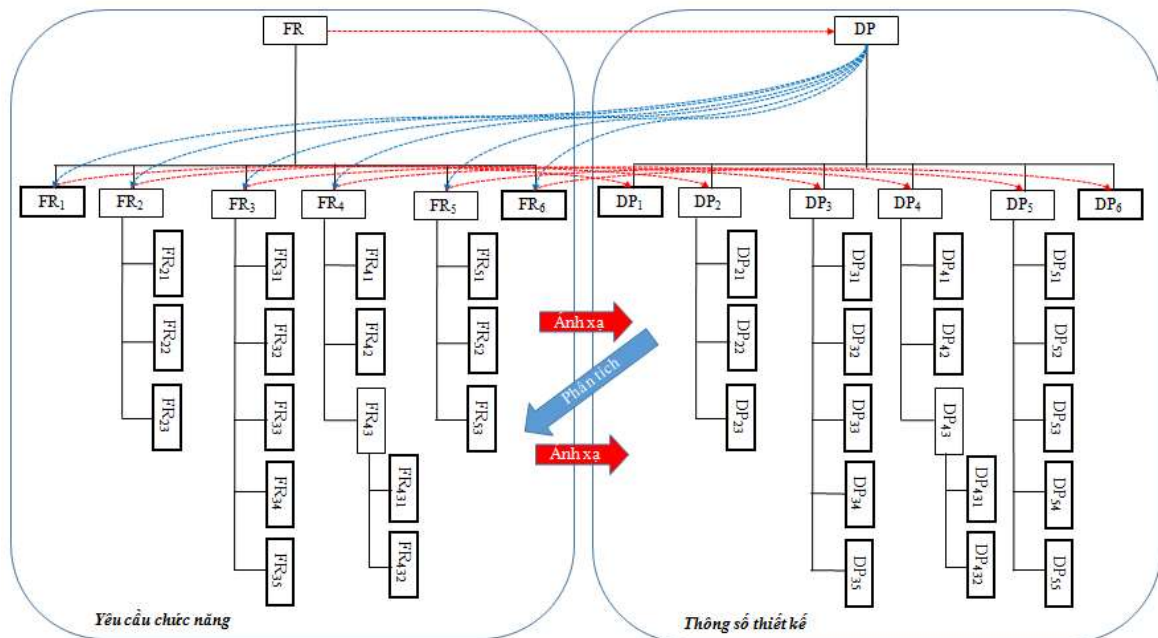
DP₅: Bộ hút chân không

DP₆: Thành khuôn có góc nghiêng

Mối tương quan giữa các FR và DP cấp 1 được biểu diễn dưới dạng phương trình (1) như sau:

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \\ FR_4 \\ FR_5 \\ FR_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \times & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \times & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \times & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \times & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \times & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \times \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \\ DP_4 \\ DP_5 \\ DP_6 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

Ở đây, \times là giá trị khác 0, thể hiện sự phụ thuộc của FR vào DP. Ta có thể thấy ma trận [A] trong phương trình (7) là ma trận tách rời (uncoupled), hay ma trận chéo, do đó, quá trình phân tách và ánh xạ cấp 1 trong quy trình thiết kế đáp ứng được tiên đề 1, tiên đề về tính độc lập.



Hình 6. Ánh xạ để phân tách FRs và DPs cho thiết bị nhiệt định hình.

Quá trình phân rã và ánh xạ được tiếp tục cho đến khi các yêu cầu chức năng không thể phân rã xuống cấp độ nhỏ hơn và mỗi yêu cầu chức năng được thực hiện bởi một và chỉ một thực thể (chi tiết) vật lý. Trong trường hợp một yêu cầu chức năng được thực hiện bởi từ hai thực thể (chi tiết) vật lý trở lên thì ta gọi đó là một thiết kế ghép (a coupled design), không thỏa mãn tiên đề 1. Trường hợp này ta phải cải tiến thiết kế, còn gọi là quá trình khử (decoupled).

Các yêu cầu chức năng và các chi tiết vật lý cụ thể như trong bảng 1:

Bảng 1: Chi tiết của quá trình phân tách và ánh xạ

Cấp	Yêu cầu chức năng	Tham số thiết kế
0	FR: Chế tạo mẫu	DP: Thiết bị nhiệt định hình
1	FR: Chế tạo mẫu FR ₁ : Tấm có kích thước A5 FR ₂ : Tấm plastic được kẹp chặt FR ₃ : Tấm plastic được gia nhiệt FR ₄ : Tấm plastic di chuyển tiếp xúc với khuôn FR ₅ : Tấm plastic được tạo hình FR ₆ : Sản phẩm được lấy ra dễ dàng	DP: Thiết bị nhiệt định hình DP ₁ : Các tấm kẹp có kích thước A5 DP ₂ : Cơ cấu kẹp DP ₃ : Bộ gia nhiệt DP ₄ : Cơ cấu trượt DP ₅ : Bộ hút chân không DP ₆ : Thành khuôn có góc nghiêng
2	FR₂: Tấm plastic được kẹp chặt FR ₂₁ : Định vị FR ₂₂ : Nhanh chóng FR ₂₃ : Lực kẹp đủ lớn	DP₂: Cơ cấu kẹp DP ₂₁ : Hai tấm kẹp DP ₂₂ : Bản lề DP ₂₃ : Snaplock
	FR₃: Tấm plastic được gia nhiệt FR ₃₁ : Nguồn nhiệt FR ₃₂ : Hạn chế thất thoát nhiệt FR ₃₃ : Đo được nhiệt độ nguồn nhiệt FR ₃₄ : Điều chỉnh được nhiệt độ FR ₃₅ : Nguồn nhiệt được treo cố định C ₃₁ : Nhiệt độ làm việc (~150°C) vì vật liệu là nhựa PET (Polyethylene terephthalate)	DP₃: Bộ gia nhiệt DP ₃₁ : Nhiệt điện trở gốm DP ₃₂ : Tấm inox DP ₃₃ : Cảm biến nhiệt DP ₃₄ : Bộ kiểm soát nhiệt độ DP ₃₅ : Khung máy
	FR₄: Tấm plastic di chuyển tiếp xúc với khuôn FR ₄₁ : Tịnh tiến lên xuống FR ₄₂ : Cơ cấu kẹp đặt ở vị trí song song với nguồn nhiệt FR ₄₃ : Giữ ở vị trí cần gia nhiệt	DP₄: Cơ cấu trượt DP ₄₁ : Thanh trượt và bạc trượt DP ₄₂ : Số bộ thanh và bạc trượt là 4 DP ₄₃ : Bộ giữ cơ cấu kẹp
	FR₅: Tấm plastic được tạo hình FR ₅₁ : Áp suất tác động lên tấm plastic FR ₅₂ : Vị trí khuôn cố định theo phương áp suất tác động FR ₅₃ : Thời gian hút chân không ngắn (trước khi tấm nhựa bị cứng lại) C ₅₃ : Thời gian hút chân không khoảng 2 s, lấy từ thông số các máy hút chân không thương mại hiện hành	DP₅: Bộ hút chân không DP ₅₁ : Buồng chân không DP ₅₂ : Bề mặt buồng hút gỗ DP ₅₃ : Bơm hút chân không DP ₅₄ : Đuôi cảm ống DP ₅₅ : Ống hút khí
3	FR₄₃: Giữ ở vị trí cần gia nhiệt FR ₄₃₁ : Vận thủ công FR ₄₃₂ : Lực giữ đủ lớn	DP₄₃: Bộ giữ cơ cấu kẹp DP ₄₃₁ : Ốc siết DP ₄₃₂ : Ren trên tấm kẹp

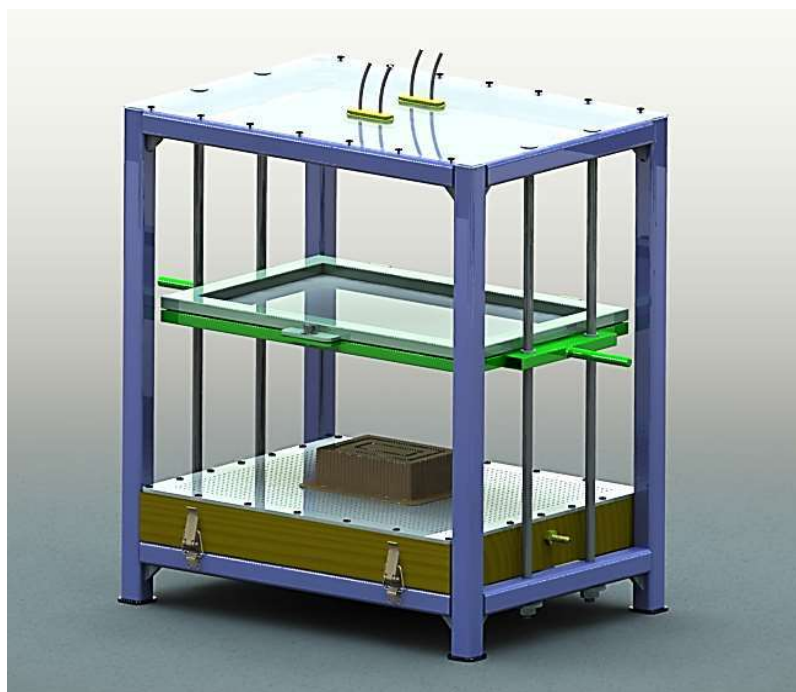
Từ bảng 1, các ma trận của các cấp FR và DP đều là ma trận chéo, trừ trường hợp sau:

$$\begin{Bmatrix} FR_{51} \\ FR_{52} \\ FR_{53} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \times & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \times & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \times & \times & \times \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{51} \\ DP_{52} \\ DP_{53} \\ DP_{54} \\ DP_{55} \end{Bmatrix} \quad (8)$$

Đây là một thiết kế thừa (redundant design). Để khử ghép (decoupled) trường hợp này, ta có thể thay đổi thiết kế hoặc chọn 1 DP chủ chốt (key). Dựa vào lý thuyết ADT, căn cứ vào ràng buộc C_{53} về thời gian hút chân không, DP_{53} : Bơm hút chân không được chọn là DP chủ chốt. Từ đó, các DP_{54} : Đuôi cắm ống và DP_{55} : Ống khí là các DP phụ thuộc, được lựa chọn dựa trên cổng đầu ra (port outlet) của DP_{53} . Kết quả là phương trình (8) trở thành một thiết kế tốt, như được minh họa trong phương trình (9).

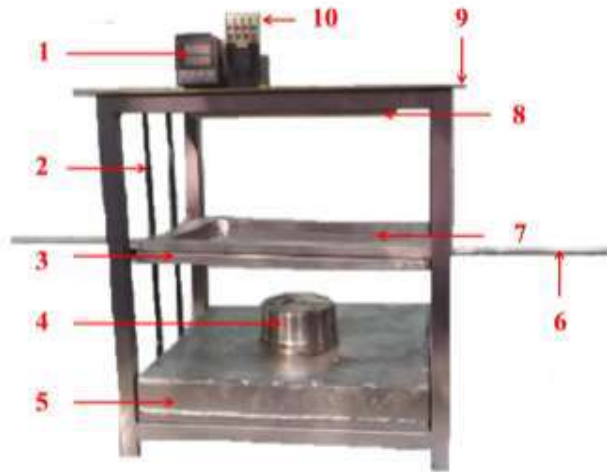
$$\begin{cases} FR_{51} \\ FR_{52} \\ FR_{53} \end{cases} = \begin{bmatrix} \times & 0 & 0 \\ 0 & \times & 0 \\ 0 & 0 & \times \end{bmatrix} \begin{cases} DP_{51} \\ DP_{52} \\ DP_{53} \end{cases} \quad (9)$$

Dựa vào bảng các chi tiết vật lý cụ thể (bảng 1), thiết bị nhiệt định hình sau khi được thiết kế thành công bằng phần mềm SolidWorks được minh họa trong hình 7.



Hình 7. Mô hình 3D của thiết bị nhiệt định hình.

Dựa vào bản thiết kế trên, cũng như mối tương quan về chức năng giữa các chi tiết như đã được trình bày trong hình 6, thiết bị nhiệt định hình được chế tạo và lắp ráp như trong hình 8.



Hình 8. Thiết bị nhiệt định hình được chế tạo thực tế

1-Bộ điều khiển nhiệt độ, 2-Thanh trượt, 3-Tấm kẹp, 4-Khuôn kim loại, 5-Bùồng hút, 6-Tay cầm, 7-Tấm nhựa PET, 8-Nhiệt điện trở gốm, 9-Tấm phíp, 10-Công tắc

3.2 Thử nghiệm thiết bị nhiệt định hình

Thiết bị được thử nghiệm với tấm nhựa PET có độ dày 0.25 mm. Qua khảo nghiệm, thông số vận hành máy được chọn như trong bảng 2.

Bảng 2: Các thông số vận hành thiết bị.

TT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	Nhiệt độ	300	^o C
2	Thời gian gia nhiệt	27	s
3	Khoảng cách giữa tấm nhựa với bộ gia nhiệt	40	mm

Trong quá trình thử nghiệm thiết bị nhiệt định hình, một vấn đề phát sinh là không đủ lực kẹp, tấm nhựa bị biến dạng trong quá trình nung nóng, hình 9.

Ma trận thiết kế mong muốn:

$$\begin{Bmatrix} FR_{21} \\ FR_{22} \\ FR_{23} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \times & 0 & 0 \\ 0 & \times & 0 \\ 0 & 0 & \times \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{21} \\ DP_{22} \\ DP_{23} \end{Bmatrix} \quad (10)$$

Ma trận thử nghiệm thực tế:

$$\begin{Bmatrix} FR_{21} \\ FR_{22} \\ FR_{23} \\ FR_{24} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \times & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \times & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \times & \times \\ 0 & 0 & \times & \times \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{21} \\ DP_{22} \\ DP_{23} \\ DP_{24} \end{Bmatrix} \quad (11)$$

Trong đó, thực tế làm phát sinh thêm FR_{24} : Kín khí, không rò áp và DP_{24} : Độ phẳng của các tấm kẹp. Phát sinh này làm thiết kế trở nên thừa, ma trận thiết kế không còn là ma trận chéo.



Hình 9. Tấm nhựa bị biến dạng.

Để khắc phục sự cố này, một lớp đệm cao su mềm, xốp có băng keo được gắn lên mặt trong tấm kẹp, nhờ đó, độ kín khít không còn phụ thuộc vào độ phẳng của tấm kẹp và snaplock được thay bằng cách kẹp thủ công. Khi đó, ma trận thiết kế trở thành:

$$\begin{cases} FR_{21} \\ FR_{22} \\ FR_{23} \\ FR_{24} \end{cases} = \begin{bmatrix} \times & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \times & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \times & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \times \end{bmatrix} \begin{cases} DP_{21} \\ DP_{22} \\ DP_{23} \\ DP_{24} \end{cases} \quad (12)$$

Trong đó:

FR₂₁: Định vị chính xác

FR₂₂: Nhanh chóng

FR₂₃: Lực kẹp đủ lớn

FR₂₄: Kín khít

DP₂₁: Hai tấm kẹp

DP₂₂: Trọng lực của tấm kẹp

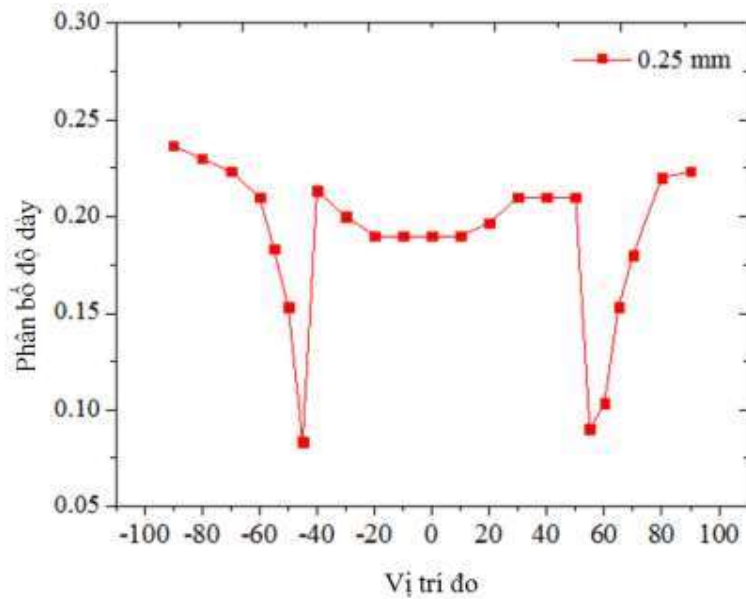
DP₂₃: Kẹp thủ công

DP₂₄: Cao su xốp

Trong quá trình thực nghiệm do có nhiều khả năng là vật sẽ biến dạng nhiều theo chiều cao của sản phẩm nên ta cần kiểm tra độ dày của tấm nhựa bằng phương pháp chia lưới để đo trên từng khoảng của sản phẩm. Việc chia lưới nhỏ giúp chúng ta dễ dàng phân tích sản phẩm trên 1 diện tích nhất định, tìm ra được những vị trí có sự biến dạng cao.



Hình 10. Sản phẩm được chia lưới.



Hình 11. Đồ thị phân bố độ dày.

Hình 11 trình bày đồ thị phân bố độ dày của sản phẩm mẫu. Theo đó, trong vùng tạo hình, độ dày tối đa là 0.21 mm, độ dày tối thiểu là 0.08 mm, độ chênh lệch lên đến 60.9%. Vùng có độ dày thấp nhất là ở thành của sản phẩm. Điều này có thể quan sát được qua độ biến dạng của lưới trong hình 10.

4 KẾT LUẬN VÀ ĐỀ NGHỊ

Việc nghiên cứu, tìm hiểu đã khẳng định được rằng ADT đã được ứng dụng rộng rãi trên thế giới gần 20 năm nay, rất nhiều những nhà nghiên cứu trên thế giới vận dụng thành công ADT vào thiết kế, cả trong nghiên cứu lý thuyết cũng như trong thực tế sản xuất, nói cách khác, ADT đã khẳng định được giá trị của nó trên phạm vi thế giới. ADT có thể được dùng độc lập hoặc kết hợp với các lý thuyết thiết kế khác để hỗ trợ cho nhau, tùy trường hợp cụ thể.

Lý thuyết ADT đã được nghiên cứu tìm hiểu, tạo nên những tài liệu tiếng Việt đầu tiên cho lý thuyết này. Sau đó, lý thuyết này đã được vận dụng thành công vào việc phân tích kết cấu và thiết kế một thiết bị nhiệt định hình dùng nguyên lý tạo hình chân không cơ bản. Trong quá trình chạy thử, vấn đề về lực kẹp và sự kín khí xuất hiện. Sử dụng ADT để phân tích vấn đề, thiết bị nhiệt định hình đã được sửa chữa cải tiến thành công. Sản phẩm mẫu sau đó được chế tạo tại khoa Công Nghệ Hóa Học của trường.

Tuy nhiên, chỉ mới có tiên đề 1 được vận dụng vào phân tích thiết kế; kết quả sản phẩm nhiệt định hình còn có độ chênh lệch độ dày lớn. Do đó, trong tương lai, một hoặc vài chi tiết quan trọng cần được phân tích và tối ưu hóa, sử dụng tiên đề thứ 2.

LỜI CẢM ƠN

Trong suốt quá trình thực hiện công trình nghiên cứu và thực nghiệm, nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn giúp đỡ từ Phó Trưởng khoa Công Nghệ Hóa Học, TS. Trần Nguyễn Minh Ân cùng cô quản lý thiết bị khoa Công Nghệ Hóa Học, trường đại học Công Nghiệp TP.HCM, Việt Nam, đã nhiệt tình cho nhóm mượn bơm hút chân không để tiến hành thực nghiệm tại phòng thí nghiệm F0.06.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] I. Ferrer, J. Rios, J. Ciurana, “An approach to integrate manufacturing process information in part design phases”, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 209, Issue 4, Pages 2085-2091, 2009.
- [2] Suh, N. P., *Axiomatic Design: Advances and Applications*, Oxford University Press, 2001.

- [3] Jinwei Qiao, Jianzhong Shang, “Application of axiomatic design method in in-pipe robot design”, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 29, Issue 4, Pages 49-57, 2013.
- [4] Dunbing Tang, Guangjun Zhang, Sheng Dai, “Design as integration of axiomatic design and design structure matrix”, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 25, Issue 3, Pages 610-619, 2009.
- [5] Kwangduk D. Lee, Nam P. Suh, Jae-Hyuk Oh, “Axiomatic Design of Machine Control System”, CIRP Annals - Manufacturing Technology 50(1), pages 109-114, 2001.
- [6] Beom-Seon Jang, Young-Soon Yang, Yu-Suk Song, Yun-Seog Yeun, Sung-Hee Do, “Axiomatic design approach for marine design problems”, Marine Structures, Volume 15, Issue 1, Pages 35-56, 2002.
- [7] R.J. Urbanic, W.H. El Maraghy, “Using axiomatic design with the design recovery framework to provide a platform for subsequent design modifications”, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Volume 1, Issue 3, Pages 165-171, 2009.
- [8] Weng, F.T. and Jenq, S.M., “Application integrating axiomatic design and agile manufacturing unit in product evaluation”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 63(1-4), Pages 181-189, 2012.
- [9] Song, K.Y., Zhang, W.J. and Gupta, M.M., “Application of Axiomatic Design Theory to a Microfluidic Device for the Production of Uniform Water-in-Oil Microspheres Adapting an Integration Method”. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 134(4), p.044504, 2012.
- [10] Osman Kulak, Selcuk Cebi, Cengiz Kahraman, “Applications of axiomatic design principles: A literature review”, Expert Systems with Applications, Volume 37, Issue 9, Pages 6705-6717, 2010.
- [11] José Antonio Carnevalli, Paulo Augusto Cauchick Miguel, Felipe Araújo Calarge, “Axiomatic design application for minimising the difficulties of QFD usage”, International Journal of Production Economics, Volume 125, Issue 1, Pages 1-12, 2010.
- [12] Gonçalves-Coelho, A.M., Neştian, G., Cavique, M. and Mourão, A, “Tackling with redundant design solutions through axiomatic design”. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 13(10), pp.1837-1843, 2012.
- [13] Hadi Kandjani, Madjid Tavana, Peter Bernus, Lian Wen, Amir Mohtarami, “Using extended Axiomatic Design theory to reduce complexities in Global Software Development projects”, Computers in Industry, Volume 67, Pages 86-96, 2015.
- [14] Puik, E. and Ceglarek, D., Application of Axiomatic Design for Agile Product Development. In MATEC Web of Conferences (Vol. 223, p. 01004). EDP Sciences, 2018.
- [15] Panday, H. and Bhattacharya, B. Fusion of TRIZ and Axiomatic Design Principles: An Investigation in Scalability of System Design Processes to Contemporary Design Frameworks. In Research into Design for a Connected World(pp. 99-108). Springer, Singapore, 2019.
- [16] Ngô Mạnh Long, Vật liệu và công nghệ chất dẻo, NXB Giáo dục Việt Nam, 2013.

Ngày nhận bài: 12/07/2019
Ngày chấp nhận đăng: 22/08/2019