

Nghiên cứu chế tạo thử nghiệm máy hòa trộn nhiên liệu ứng dụng công nghệ siêu âm

TS. LÊ ĐĂNG KHÁNH; TS. TRẦN THẾ NAM; TS. NGUYỄN TUẤN ANH

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

TÓM TẮT: Máy hòa trộn siêu âm là thiết bị dùng để hòa trộn các hỗn hợp chất lỏng - chất lỏng, chất lỏng - chất rắn rất hiệu quả. Quá trình hòa trộn siêu âm là một quá trình cơ học để giảm kích thước hạt và phân bố đều các chất trong hỗn hợp chất lỏng. Trong máy hòa trộn siêu âm, đầu rung đóng vai trò rất quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng sản phẩm và khả năng công nghệ. Đầu rung được thiết kế tùy thuộc vào các ứng dụng. Mỗi máy hòa trộn có thể được trang bị nhiều đầu rung khác nhau tùy theo các mẫu hòa trộn khác nhau. Đầu rung được chế tạo từ hợp kim của titan là có đặc tính kỹ thuật tốt nhất. Tuy nhiên, giá thành của hợp kim titan là rất cao so với các vật liệu khác như thép, nhôm. Bài báo trình bày về nghiên cứu chế tạo thử nghiệm đầu rung bằng hợp kim nhôm cho máy hòa trộn ứng dụng công nghệ siêu âm thay thế cho đầu rung bằng hợp kim titan.

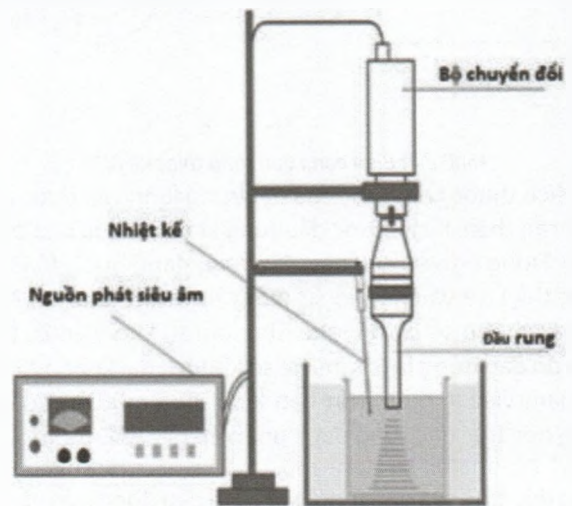
TỪ KHÓA: Máy hòa trộn siêu âm, đầu rung, hợp kim nhôm, nhiên liệu hỗn hợp.

ABSTRACT: Ultrasonic homogenizers are powerful tools to mix and homogenize solid-liquid and liquid-liquid suspensions. Ultrasonic homogenization is a mechanical process to reduce particles in a liquid so that they become uniformly small and evenly distributed. In The ultrasonic homogenizers, homogenizing tool called a sonotrode/horn, is very important part which directly affect to mixing or homogenization quality. The horn is designed depending on certain application. A homogenize can be equipped with a several horns for many case of working. The ideal material for manufacturing horn is titanium alloy. However, Titanium alloy is more expensive than iron or aluminium alloy. This paper will present a study on developing the aluminium alloy horn for ultrasonic homogenizers which can be an option for replacing the titanium alloy horn.

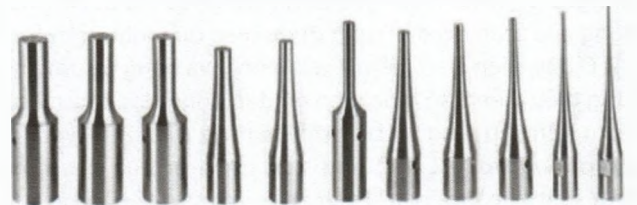
KEYWORDS: Ultrasonic mixer, horn, aluminium alloy, mixed fuel.

gồm áp điện, giúp chuyển đổi dao động điện thành dao động cơ cùng tần số. Biên độ dao động cơ ở đầu ra của bộ chuyển đổi lần lượt được khuếch đại qua bộ khuếch đại (booster) và truyền đến đầu rung (horn). Dao động với tần số siêu âm của đầu rung được truyền tới chất lỏng cần hòa trộn. Dưới tác dụng của dao động siêu âm các thành phần chất lỏng, chất rắn trong hỗn hợp cần hòa trộn sẽ được chia nhỏ, hòa trộn, khuếch tán vào nhau.

Đầu rung là chi tiết tiếp xúc trực tiếp và truyền dao động cơ học từ máy hòa trộn siêu âm vào dung dịch cần hòa trộn. Tùy thuộc vào ứng dụng mà đầu rung được chế tạo theo kích thước và hình dạng khác nhau như trong Hình 1.2. Đầu rung là vật liệu tiêu hao, thường được thay thế sau khoảng 6 tháng đến 1 năm hoạt động. Vật liệu chế tạo đầu rung thường là hợp kim titan.



Hình 1.1: Nguyên lý hòa trộn siêu âm [2]



Hình 1.2: Các dạng đầu rung siêu âm [2]

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nguyên lý hòa trộn siêu âm thể hiện ở Hình 1.1. Nguồn phát siêu âm nhận nguồn điện xoay chiều 220 V/50 Hz và biến chúng thành dao động điện tần số siêu âm (20, 30, 40... kHz). Dao động này được truyền tới bộ chuyển đổi

2. CHẾ TẠO ĐẦU RUNG

2.1. Thiết kế đầu rung

Đầu rung siêu âm có chức năng khuếch đại biên độ dao động của sóng cơ học. Ngoài ra, đầu rung còn truyền năng lượng cơ học từ bộ chuyển đổi đến bộ khuếch đại và

đến hỗn hợp chất lỏng. Đầu rung co và giãn dọc theo trục với tần số dao động tự nhiên. Do đó, đầu rung, bộ khuếch đại, bộ chuyển đổi cần phải cộng hưởng với nhau. Ví thế, đầu rung, bộ khuếch đại và bộ chuyển đổi cần phải thiết kế phù hợp nhằm giảm hư hỏng cho bộ nguồn phát siêu âm. Đầu rung có tần số dao động tự nhiên tùy thuộc vào chiều dài của nó và được tính theo công thức sóng (1):

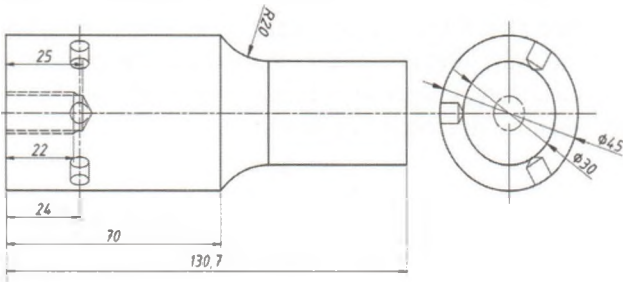
$$\lambda = \frac{c}{f_n} = \frac{1}{f_n} \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 2l \quad (1)$$

Trong đó: λ - Bước sóng; l - Chiều dài đầu rung; c - Vận tốc truyền sóng; f_n - Tần số dao động tự nhiên; E và ρ - Mô-đun đàn hồi và khối lượng riêng của vật liệu làm đầu rung tương ứng.

Tỉ số giữa biên độ lớn nhất và biên độ nhỏ nhất trên toàn bộ diện tích làm việc chính là mức độ đồng đều của biên độ dao động trên bề mặt làm việc của đầu rung và được tính theo công thức (2).

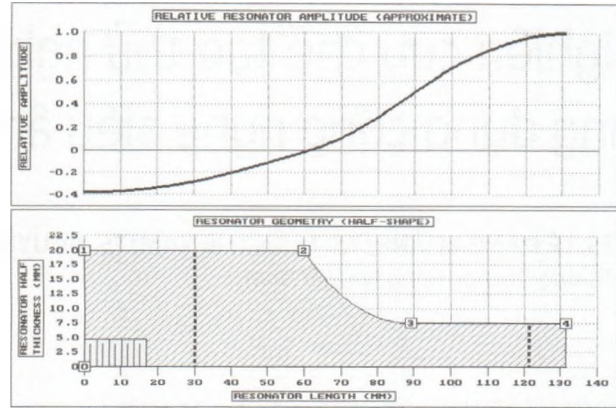
$$U_{\text{informaty}} = (u_{\text{min}} / u_{\text{max}}) \cdot 100 \quad (2)$$

Trong đó: u_{max} , u_{min} - Biên độ lớn nhất, nhỏ nhất trên bề mặt làm việc của đầu rung.

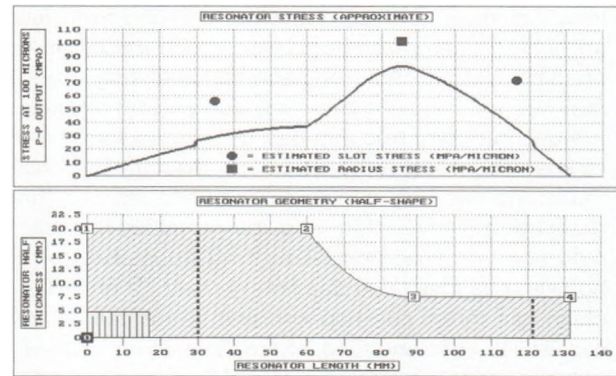


Hình 2.1: Biên dạng đầu rung thiết kế [2]

Kích thước chính xác của đầu rung luôn cần được tính toán cẩn thận. Kích thước đầu rung là bội số của nửa bước sóng. Trong nghiên cứu này, đầu rung dạng bước, Hình 2.1 được thiết kế và chế tạo sử dụng hợp kim nhôm A7075 với các thông số công nghệ như: tần số làm việc 20 kHz, biên độ dao động là 65 μm , hệ số khuếch đại là 2,5 và diện tích làm việc là hình tròn bán kính 30 mm. Biên độ dao động dọc trục đầu rung được phần mềm CARD (Computer Aided Resonator Design) mô phỏng như Hình 2.2. Dao động dọc trục của đầu rung bao gồm dao động nén và dao động dãn. Trong kết quả mô phỏng, nếu chọn điểm số 2 làm gốc, chính là điểm gốc trong lắp ghép chi tiết, thì dao động của toàn bộ đầu rung được biểu diễn như trên Hình 2.2. Ở đây, biên độ ở điểm 4 là lớn nhất và bằng 65 μm , trục tung biểu diễn tỉ số giữa biên độ dao động dọc trục tại các điểm trên đầu rung với biên độ lớn nhất. Hình 2.3 là kết quả mô phỏng trong CARD ứng suất dọc trục của đầu rung. Ứng suất khe giới hạn (Estimated slot stress) và ứng suất bo tròn giới hạn (Estimated radius stress) sẽ được xác định bởi các dữ liệu đầu vào như vật liệu, kích thước đầu rung, tần số làm việc... Ứng suất dọc trục của đầu rung phải nhỏ hơn các ứng suất tới hạn để tránh hiện tượng nứt, phá hủy đầu rung khi làm việc. Trong Hình 2.3, ứng suất dọc trục, đặc biệt tại các vị trí có khe hở và có sự thay đổi tiết diện, thỏa mãn điều đó.



Hình 2.2: Phân bố dao động theo phương dọc trục của đầu rung



Hình 2.3: Phân bố ứng suất theo phương dọc trục của đầu rung

Trong phần mềm CARD, tần số của đầu rung có thể điều chỉnh bằng cách điều chỉnh các thông số cộng hưởng như: chiều dài, chiều dày hoặc đường kính và vị trí bán kính chuyển tiếp. Ngoài ra, CARD có thể tự động điều chỉnh tăng và giảm thiểu ứng suất. Dựa vào các thông số đầu vào, phần mềm CARD sẽ tính toán theo mật cắt ngang dọc trục dao động để đưa ra kích thước chiều dài đầu rung phù hợp với tần số cộng hưởng của hệ.

2.2. Gia công chế tạo

Thông thường, đầu rung được chế tạo từ vật liệu tiêu chuẩn là hợp kim titan. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã chọn hợp kim nhôm A7075 với các đặc tính như Bảng 2.1 và Bảng 2.2 [4].

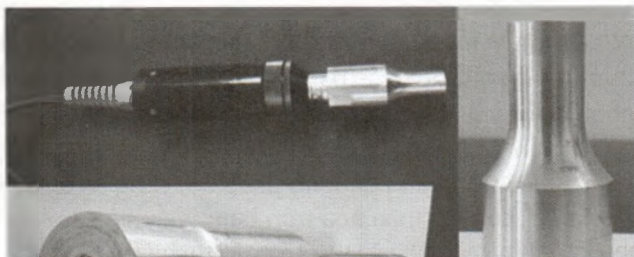
Bảng 2.1. Thành phần hóa học của nhôm A7075

Thành phần hóa học/ Chemical composition -7075 Aluminium	
Nhôm / Aluminium (Al)	87.1 - 91.4%
Crôm / Chromium (Cr)	0.18 - 0.28%
Đồng / Copper (Cu)	1.2 - 2.0%
Sắt / Iron (Fe)	0.5 max
Magiê / Magnesium (Mg)	2.1 - 2.9%
Mangan / Manganese (Mn)	0.3% max
Silic / Silicon (Si)	0.4 max
Kẽm / Zinc (Zn)	5.1 - 6.1% max
Titan / Titanium (Ti)	0.2 max

Bảng 2.2. Đặc tính cơ lý của nhôm A7075

7075 Aluminium/ Physical and Mechanical property / Cơ lý tính	Minimum Properties
Giới hạn bền kéo / Ultimate Tensile Strength, psi	83,000
Độ bền nén / Yield Strength, psi	73,000
Độ cứng Brinell/ Brinell Hardness (HB)	150
Độ cứng Rockwell / Rockwell Hardness (HRC)	B87

Mật độ thể tích/ Density (lb / cu. in.)	0.101
Trọng lượng riêng / Specific Gravity (kg/m3)	2.80
Nhiệt độ nóng chảy / Melting Point (Deg F)	900
Modun kéo đàn hồi / Modulus of Elasticity Tension	10.4
Mô đun xoắn đàn hồi / Modulus of Elasticity Torsion	3.8

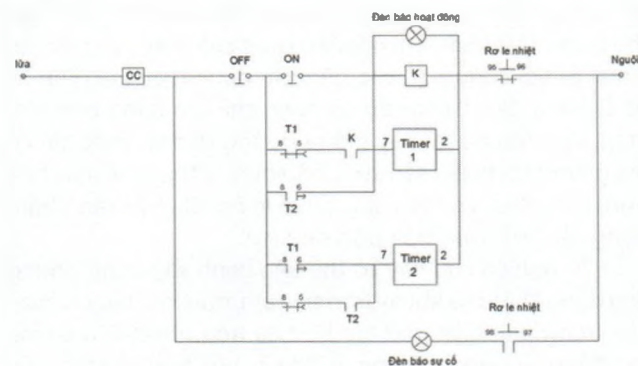


Hình 2.4: Đầu rung sau khi gia công

Các kết quả mô phỏng trong CARD cho thấy rằng đầu rung bằng hợp kim nhôm 7075 hoàn toàn có thể thay thế được đầu rung bằng hợp kim titan [2] trong hầu hết các ứng dụng. Từ kết quả tính toán, mô phỏng và lựa chọn vật liệu, phối được tiến hành phay, mài và mạ để thu được đầu rung như Hình 2.4.

2.3. Thiết kế và gia công mạch điều khiển quá trình hòa trộn

Trong thực tế không phải tất cả các máy hòa trộn siêu âm đều được trang bị bộ điều khiển định thời, đặc biệt là các máy hòa trộn siêu âm dạng cầm tay. Các máy siêu âm dạng cầm tay chỉ được lắp đặt nút ấn dạng On-Off để điều khiển, điều này gây khó khăn trong quá trình làm việc vì không phải hỗn hợp nào cũng có thời gian hòa trộn và cường độ hòa trộn như nhau. Cùng với đó, máy hòa trộn cũng không thể hoạt động liên tục quá lâu bởi sự nóng lên của đầu rung trong quá trình làm việc. Ví dụ, với hỗn hợp dầu và nước, thời gian hòa trộn là rất ngắn, chỉ 8 - 10 giây là đã thu được sản phẩm như mong muốn. Nhưng với các hỗn hợp có độ nhớt cao thì thời gian hòa trộn phải kéo dài và nhiều loại còn cần hòa trộn nhiều lần mới thu được kết quả mong muốn. Chính vì lý do này, nhóm tác giả đã quyết định tìm hiểu và chế tạo mạch điều khiển theo thời gian có khả năng đóng mở luân phiên thông qua rơ-le thời gian, từ đó điều khiển hoạt động của máy, từ đó có thể cài thời gian chạy cũng như nghỉ luân phiên thích hợp với từng loại hỗn hợp khác nhau.



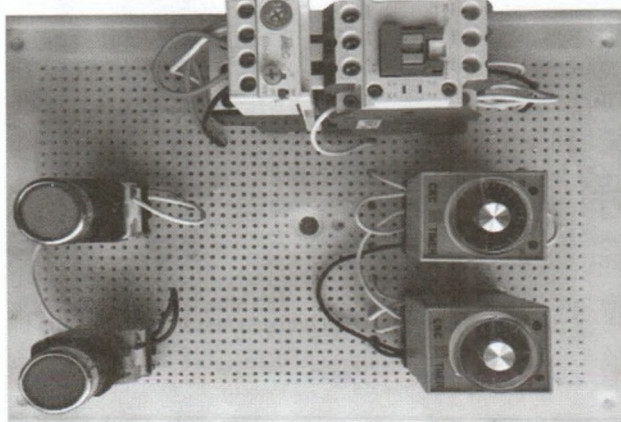
Hình 2.5: Mạch điều khiển hòa trộn

Nguyên lý hoạt động của mạch điều khiển hòa trộn được mô tả như Hình 2.5. Khi ta nhấn nút On trên bảng điều khiển, tiếp điểm thường mở của nút On đóng lại, mạch kín

và khởi động từ K có điện, lõi từ của khởi động từ di chuyển tạo thành mạch kín. Khi ta buông tay, tiếp điểm tại nút On mở, lõi từ của khởi động từ lúc này đóng vai trò làm kín mạch, dòng điện qua lõi từ đi tới Timer 1. Mạch điện kín mạch, máy hoạt động, đèn báo hoạt động sáng lên.

Sau một khoảng thời gian được định trước (thời gian hoạt động của mạch), Timer 1 chuyển mạch tiếp điểm thường đóng 8-5 mở ra, tiếp điểm thường mở 8-6 đóng lại. Dòng điện lúc này được cấp cho Timer 2 thông qua tiếp điểm 8-6 của Timer 1, nhưng do đoạn từ Timer 2 tới khởi động từ là mạch hở, do đó khởi động từ K mất điện, lõi từ từ trở về vị trí như ban đầu, mạch ngưng hoạt động một thời gian được định sẵn ở Timer 2. Sau khi tới thời gian được định sẵn, Timer 2 chuyển mạch tiếp điểm 8-5 mở ra, tiếp điểm 8-6 đóng lại và cấp nguồn cho cho khởi động từ, lõi từ lại di chuyển để đóng kín mạch và cấp nguồn cho Timer 1. Mạch sẽ liên tục hoạt động như vậy cho đến khi ta nhấn nút Off hoặc khi gặp sự cố thì sẽ dừng lại.

Các trường hợp sự cố có thể xảy ra như quá tải, ngắn mạch... Khi quá tải, dòng điện tăng đột biến, cầu chì lúc này sẽ tự chảy hoặc uốn cong để tách khỏi mạch điện để bảo vệ mạch. Khi ngắn mạch, dòng điện tăng cao, phiến kim loại kép trong rơ-le nhiệt giãn nở về phía thanh kim loại có độ giãn nở thấp hơn, nhờ đó ngắt mạch và cấp điện cho đèn báo sự cố làm nó sáng lên, mạch cũng ngưng hoạt động. Bảng điều khiển thực tế trong thí nghiệm được lắp đặt như Hình 2.6.



Hình 2.6: Bảng điều khiển hòa trộn


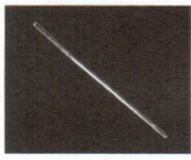



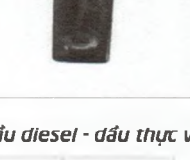
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tiến hành thí nghiệm




Các dụng cụ, máy móc và hóa chất thí nghiệm được tổng hợp như Bảng 3.1. Trong thí nghiệm này, chúng ta sẽ tiến hành hòa trộn thử nghiệm bằng máy hòa trộn thực tế và so sánh kết quả giữa hòa trộn hỗn hợp chất lỏng bằng máy hòa trộn siêu âm với phương pháp khuấy trộn truyền thống. Trong thí nghiệm, nhóm tác giả đã dùng 2 mẫu hỗn hợp chất lỏng để tiến hành hòa trộn, kết quả thử nghiệm được tóm tắt ở Bảng 3.2 và Bảng 3.3.

Sau khi gia công, đầu rung được lắp đặt và thử nghiệm trên máy hòa trộn của Công ty Mecstech Vina, như hình trong Bảng 3.1.

Bảng 3.1. Danh mục máy móc, dụng cụ và hóa chất

Tên dụng cụ	Hình ảnh
1. Máy hòa trộn siêu âm	
2. Đũa khuấy	
3. Dầu diesel	
4. Dầu thực vật	
5. Sữa cam	
6. Sữa tắm	

Bảng 3.2. Mẫu số 01: Hỗn hợp dầu diesel - dầu thực vật

Mẫu	Thành phần	Hỗn hợp ban đầu	Hỗn hợp khuấy tay	Hỗn hợp Khuấy bằng máy
1	Dầu thực vật và dầu Diesel			

Bảng 3.3. Mẫu số 02: Hỗn hợp sữa cam - sữa tắm - dầu diesel

Mẫu	Thành phần	Hỗn hợp ban đầu	Hỗn hợp khuấy tay	Hỗn hợp Khuấy bằng máy
2	Sữa tắm, sữa cam và dầu diesel			

Các mẫu sẽ được hòa trộn bằng dụng cụ hòa trộn bằng tay trong thời gian 10 phút (600 giây). Các mẫu hòa trộn sử dụng siêu âm sẽ được hòa trộn trong thời gian 20 giây (mẫu 01) và 25 giây (mẫu 02).

3.2. Đánh giá kết quả

Từ kết quả khuấy trộn của các mẫu thử nghiệm trên chúng ta rất dễ dàng thấy rằng, đánh giá bằng mắt thường, hiệu quả hòa trộn bằng máy siêu âm vượt trội hơn rất nhiều so với hòa trộn bằng phương pháp thủ công về cả thời gian lẫn độ hòa tan. Sau khi hòa trộn từ 15 - 20 phút thì mẫu hòa trộn bằng phương pháp thủ công sẽ bị tách pha trở lại, còn khi mẫu hòa trộn bằng máy siêu âm hầu như không bị tách pha và sau 15 ngày thì hiện tượng tách pha mới bắt đầu xuất hiện. Trên các mẫu thử khác nhau và có độ nhớt khác nhau cùng hòa trộn bằng siêu âm, kết quả thực nghiệm cho thấy chất lượng hòa trộn phụ thuộc vào độ nhớt và lượng dung dịch cần hòa trộn. Thời gian hòa trộn tăng khi độ nhớt dung dịch và lượng dung dịch cần hòa trộn tăng.

4. KẾT LUẬN

4.1. Kết quả đạt được

Bước đầu nghiên cứu về đề tài nhóm đã đạt được:

- Tổng hợp lý thuyết về nguyên lý hoạt động của máy hòa trộn siêu âm và các bộ phận của máy, ứng dụng, ưu điểm của công nghệ khuấy trộn sử dụng sóng siêu âm.

- Thiết kế lắp ráp mạch điều khiển quá trình hòa trộn giúp chủ động điều khiển và tối ưu khuấy trộn nhiều mẫu hòa trộn khác nhau.

- Nhóm tác giả đã dùng phần mềm CARD để thiết kế đầu rung hợp kim nhôm A7075 cho máy hòa trộn siêu âm tần số 20 kHz. Đầu rung được gia công và tiến hành thử nghiệm trên khuấy trộn một số mẫu hỗn hợp dung dịch. Kết quả bước đầu cho thấy rằng, bộ hòa trộn siêu âm vượt trội so với hòa trộn thủ công cả về thời gian và chất lượng dung dịch thu được.

4.2. Triển vọng và hướng phát triển

- Về mặt kỹ thuật thì đầu rung chế tạo từ titan luôn có chất lượng tốt nhất, độ bền và chống ăn mòn cao hơn. Tuy nhiên, trong thực tế sản xuất, yêu cầu của hầu hết các hỗn hợp đối với đầu rung không quá cao, vậy nên đầu rung bằng hợp kim nhôm có thể hoàn toàn đáp ứng và thay thế được. Mặt khác, chi tiết đầu rung của máy hòa trộn do làm việc với cường độ cao nên cần được thay thế định kỳ từ 6 tháng đến 1 năm dù có được chế tạo bằng hợp kim titan. Vậy nên đề tài này mở ra hướng đi mới, theo đó có thể giảm các chi phí sản xuất, bảo dưỡng thay thế máy hòa trộn, đồng thời có thể nâng cao tỉ lệ nội địa hóa sản phẩm trong sản xuất máy hòa trộn siêu âm.

- Từ nghiên cứu này có thể tiến hành xây dựng những ứng dụng khác của khuấy trộn siêu âm, như: chế tạo các máy hòa trộn dung dịch, chế tạo bộ hòa trộn nhiên liệu online cho động cơ diesel sử dụng nhiên liệu hỗn hợp, chế tạo máy trích ly chất công nghệ siêu âm cho các phòng thí nghiệm.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số DT21-22.14.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Trần Thế Nam, Lê Đăng Khánh (2021), *Nghiên cứu chế tạo thử nghiệm đầu rung bằng hợp kim nhôm cho máy khuấy siêu âm*, Tạp chí Khoa học Công nghệ hàng hải, số đặc biệt, tr.91-93.
- [2]. Khiếu Hữu Triển, Lê Đăng Khánh, Phạm Duy Thuyền (2018), *Nghiên cứu chế tạo thử nghiệm khuôn hàn thép cho máy hàn nhựa nhiệt dẻo bằng công nghệ siêu âm*, Tạp chí Khoa học Công nghệ hàng hải, số 55, tr.31-36.
- [3]. O. Abramov (1998), *High Intensity Ultrasonics Theory and Industrial Applications*, Gordon and Breach Science Publishers.
- [4]. Công ty TNHH Thép H&D, *Đặc tính nhôm 7075*, www.hdsteel.com.vn.
- [5]. SONOTRONIC Ultrasonic Technology, *Sonication of Biosolids*, <http://www.sonotronic.de/technologies/ultrasonic/sonication-of-bio-solids>.
- [6]. Hielscher Ultrasound Technology, *Ultrasonics: Applications and Processes*, <https://www.hielscher.com/technolo.htm>.

Ngày nhận bài: 19/6/2022

Ngày chấp nhận đăng: 12/7/2022

**Người phản biện: PGS. TS. Phạm Tâm Thành
TS. Ngô Gia Việt**