

THIẾT KẾ KÊNH ĐIỀU HƯỚNG CHO SẢN PHẨM NẮP CHAI VACCINE BẰNG CAO SU TRONG HỆ THỐNG CẤP PHÔI TỰ ĐỘNG DẠNG PHỄU RUNG

DESIGN OF ORIENTATION TRACKS FOR RUBBER VACCINE STOPPERS IN VIBRATORY BOWL FEEDER SYSTEMS

Nguyễn Văn Mùi, Lê Văn Tiến

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến tòa soạn ngày 05/12/2025, chấp nhận đăng ngày 04/02/2026

Tóm tắt: Ngày nay, các hệ thống sản xuất hiện đại các công đoạn như lắp ráp, kiểm tra đánh giá chất lượng sản phẩm, lưu kho... đã và đang được tự động hóa nhằm nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm. Các thiết bị cấp phôi tự động là một giải pháp tối ưu giúp cho quá trình tự động hóa sản xuất. Thiết bị cấp phôi tự động theo nguyên lý rung động là lựa chọn cho các loại phôi rời có trọng lượng và kích thước nhỏ. Với hệ thống này việc định hướng và cấp phôi đúng nhịp là một yêu cầu bắt buộc. Bài báo này trình bày việc nghiên cứu lý thuyết tính toán, sự ảnh hưởng của các thông số động lực học (tần số rung) cũng như tính toán thiết kế các bẫy phân loại trên kênh điều hướng trên phễu rung của hệ thống cấp phôi tự động theo nguyên lý rung động cho sản phẩm nắp chai vaccine bằng cao su dùng trong y tế. Việc định hướng phôi đi ra đảm bảo đúng hướng và năng suất, hướng của phôi đáp ứng yêu cầu cấp phôi tự động với năng suất 120 phôi/phút.

Từ khóa: Tần số dao động riêng, kênh dẫn hướng, hệ thống cấp phôi tự động, mô phỏng số, rung động.

Abstract: Today, in modern manufacturing systems, processes such as assembly, product quality inspection and evaluation, and warehousing have been and are continually being automated to enhance productivity and product quality. Automatic feeding devices are an optimal solution to support the production automation process. The vibratory bowl feeding on the vibratory principle is the suitable choice for discrete parts with small weight and size. In this system, ensuring accurate part orientation and synchronized feeding is a mandatory requirement. This paper presents a theoretical investigation into the calculation, the influence of dynamic parameters (vibration frequency), as well as the calculation and design of the classification traps on the guide channel of the vibratory bowl feeding within the automatic feeding system. The work focuses on the rubber vaccine vial stoppers used in the medical field. The objective is to ensure the parts exit with the correct orientation as required, guaranteeing the desired productivity and direction for automatic feeding at a rate of 120 parts per minute (ppm).

Keywords: Natural frequency, track, vibration bowl feeder, numerical simulation, vibration.

1. GIỚI THIỆU

Thiết bị cấp phôi tự động theo nguyên lý rung động (Vibration bowl feeder - VBF) chiếm hơn 80% khi cấp cho các loại phôi rời rạc có

trọng lượng và kích thước nhỏ [1]. VBF là một thiết bị có cấu tạo đơn giản nhưng tính năng rất mạnh mẽ nhờ khả năng cấp phôi chính xác, đúng hướng và đúng nhịp đảm bảo

năng suất và chất lượng cấp phôi. Thiết bị này có tuổi thọ cao và tiêu hao ít năng lượng. Cấu tạo và nguyên lý chung của thiết bị cấp phôi được thể hiện như Hình 1. Trong đó, phễu rung (1) dùng để chứa phôi được gắn lên trên đế trên (2). Trong phễu rung được gắn các kênh dẫn hướng để định hướng và phân loại phôi theo yêu cầu. Đế trên (2) được đặt trên lò xo lá (3) được gắn theo góc 120° nhằm thực hiện các chuyển động xoay và rung động của phễu 1 nhờ lực hút của 2 nửa nam châm điện (4). Nam châm điện (4) gồm 2 phần, một phần gắn ở đế 2 và một phần gắn ở đế dưới 5.



Hình 1. Hệ thống cấp phôi tự động dạng phễu rung

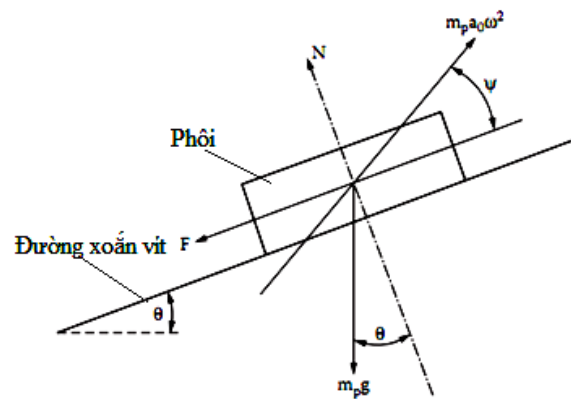
Quá trình rung động của phễu 1 sẽ được thực hiện nhờ việc hút nhả giữa hai phần nam châm điện. Nút điều khiển trên hộp điều khiển (7) giúp điều khiển điện áp qua đó làm thay đổi lực tác dụng giữa nửa trên và nửa dưới của phần nam châm. Trong quá trình hoạt động, sự rung động của phễu có thể ảnh hưởng đến các thiết bị khác cũng như vị trí của thiết bị trên nền xưởng, các rung động đó được triệt tiêu nhờ giảm chấn (6). Quá trình di chuyển cũng như tốc độ của phôi trên phễu phụ thuộc vào các thông số động lực học của hệ thống như tần số, biên độ rung, ma sát giữa phôi và máng cũng như các bẫy đặt trên kênh dẫn hướng giúp phân loại phôi.

2. LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN

2.1. Cơ sở lý thuyết

Khi phân tích quá trình di chuyển của phôi

trên máng dẫn (kênh dẫn hướng) dạng đường xoắn Archimedes nên phôi sẽ tạo với mặt phẳng nằm ngang một góc $(\theta + \psi)$. Khi biên độ dao động của thiết bị nhỏ phôi gần như đứng yên, không di chuyển trên máng dẫn do lực ma sát F giữ phôi và kênh dẫn hướng lớn hơn lực quán tính của phôi. Trên Hình 2 ta thấy rằng lực quán tính khi chiếu lên phương di chuyển của phôi có hai thành phần song song là $F_{qt1} = m_p \cdot a_0 \cdot \omega^2 \cdot \cos\psi$ và thành phần pháp tuyến $F_{qt2} = m_p \cdot a_0 \cdot \omega^2 \cdot \sin\psi$ [4].



Hình 2. Lực tác dụng lên phôi trên kênh dẫn [1, 4]

Theo sơ đồ lực Hình 2, để phôi có thể di chuyển trượt lên trên là:

$$F_{qt1} > F_{qt2} + F$$

$$m_p \cdot a_0 \cdot \omega^2 \cdot \cos\psi - F > m_p \cdot g \cdot \sin\theta \quad (1)$$

Trong đó: F là lực ma sát giữa phôi và máng dẫn.

$$Lực\ ma\ sát\ F = \mu_s \cdot N$$

Với μ_s là hệ số ma sát tĩnh giữa phôi và máng dẫn;

N là phản lực của phôi trên máng dẫn;

$$F = \mu_s \cdot [m_p \cdot g \cdot \cos\theta - m_p \cdot a_0 \cdot \omega^2 \cdot \sin\psi] \quad (2)$$

Từ thay (2) vào (1) ta có:

$$m_p \cdot a_0 \cdot \omega^2 \cdot \cos\psi - \mu_s \cdot [m_p \cdot g \cdot \cos\theta - m_p \cdot a_0 \cdot \omega^2 \cdot \sin\psi] > m_p \cdot g \cdot \sin\theta$$

Biến đổi ta được, phương trình lực tác động

để phôi đi lên là:

$$\frac{\mu_s \cos \theta + \sin \theta}{\cos \psi + \mu_s \sin \psi} < \frac{a_0 \cdot \omega^2}{g} \quad (3)$$

Với các biến đổi như trên, điều kiện để phôi bị trượt xuống là:

$$\frac{\mu_s \cos \theta - \sin \theta}{\cos \psi - \mu_s \sin \psi} > \frac{a_0 \cdot \omega^2}{g} \quad (4)$$

Quá trình hoạt động của phễu rung cấp phôi và phôi di chuyển của máng dẫn phụ thuộc vào gia tốc pháp tuyến A_n của máng dẫn và gia tốc trọng trường (lực hút của Trái Đất) g_n .

Trong đó, $A_n = a_n \omega^2$

$g_n = g$

Chiều lên vuông góc với máng dẫn ta có:

$$A_n = a_0 \omega^2 \sin \psi$$

$$g_n = g \cdot \cos \theta$$

Gia tốc pháp tuyến của máng dẫn là:

$$\frac{A_n}{g_n} = \frac{a_0 \omega^2 \sin \psi}{g \cos \psi} \quad (5)$$

Thay (5) vào (3) ta có:

$$\frac{\mu_s + \tan \theta}{\cot \psi + \mu_s} < \frac{A_n}{g_n} \quad (6)$$

Thay (5) vào (4) ta có:

$$\frac{\mu_s - \tan \theta}{\cot \psi - \mu_s} < \frac{A_n}{g_n} \quad (7)$$

Biến đổi các phương trình (6) và (7) ta được, điều kiện để phôi đi lên là:

$$\tan \psi > \frac{\tan \theta}{\mu_s^2}$$

Khi góc nghiêng máng θ quá nhỏ ta thấy rằng $\tan \theta \approx \theta$

$$\tan \psi > \frac{\theta}{\mu_s^2} \quad (8)$$

Trong quá trình rung động, khi biên độ rung của phễu bao gồm máng dẫn đủ lớn, phôi sẽ có trạng thái vừa trượt vừa nhảy và di chuyển trên máng dẫn theo đường xoắn. Khi đó phôi sẽ không tiếp xúc với máng dẫn và phản lực

giữa phôi tác động lên máng dẫn $N = 0$.

Theo sơ đồ phân tích lực ở Hình 2 ta có:

$$N = m_p g \cos \theta - m_p a_0 \omega^2 \sin \psi = 0 \quad (9)$$

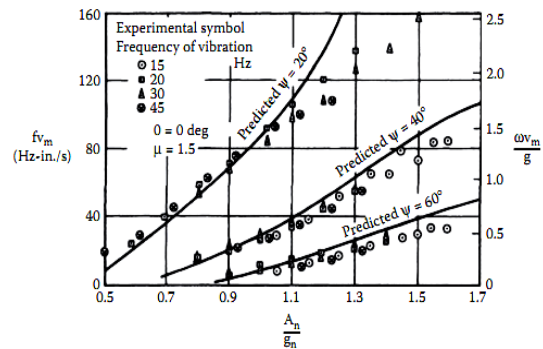
Biến đổi thay (5) vào (9) điều kiện để phôi rời khỏi máng dẫn là:

$$\frac{\cos \theta}{\sin \psi} < \frac{a_0 \omega^2}{g} \text{ hay } 1 < \frac{A_n}{g_n} \quad (10)$$

2.2. Ảnh hưởng của tần số

G. Boothroyd [4] chỉ ra rằng, vận tốc trung bình v_m tỷ lệ nghịch với tần số rung f tại một số điều kiện nhất định khi gia tốc không thứ nguyên của máng dẫn là hằng số (nghĩa là $\frac{A_n}{g_n}$ là hằng số).

$$\text{Vì thế: } v_m f = \text{constan} \quad (11)$$



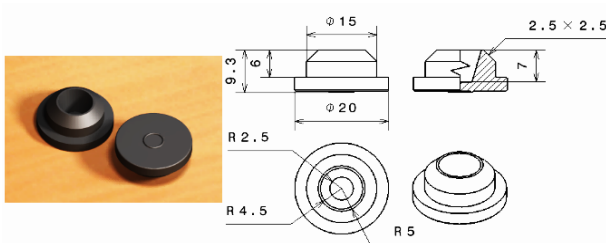
Hình 3. Ảnh hưởng của các thông số động lực học lên vận tốc vận chuyển của phôi [4]

Trong Hình 3, để đánh giá ảnh hưởng các thông số động lực học đến vận tốc di chuyển của phôi. Các thông số thử nghiệm bao gồm: góc rung động ở chế độ trượt, khuyến cáo và nhảy tương ứng là $\psi = 20^\circ, 40^\circ, 60^\circ$, dải tần số dao động phổ biến của thiết bị rung $f = 15, 20, 30, 45$ Hz, khi đó giá trị $f v_m$ được sử dụng như vận tốc của phôi trên máng dẫn. Kết quả cho thấy vận tốc di chuyển của phôi tăng dần khi giá trị $\frac{A_n}{g_n}$ tăng. Qua đây cũng cho thấy tần số dao động tốt nhất của phễu rung và máng dẫn cho quá trình cấp phôi dao động từ 30 đến 60 Hz.

Tại Việt Nam, dòng điện xoay chiều một pha có tần số 50 Hz. Trong quá trình hoạt động, nam châm điện của hệ thống cấp phôi dạng rung trong mỗi nửa chu kỳ đầu nhờ lực hút của nam châm điện phễu rung đi xuống biên độ đạt cực đại. Trong nửa chu kỳ sau, khi dòng điện giảm về 0 lò xo lá do nửa chu kỳ đầu bị nén sẽ đẩy phễu rung về trạng thái ban đầu. Như vậy, với mỗi dao động của dòng điện thì tần số dao động sẽ tạo ra 2 dao động của phễu, với dòng điện xoay chiều có tần số 50 Hz thì tần số dao động của phễu là 100 Hz. Để biên độ dao động của phễu đạt cực đại thì thiết bị hoạt động ở chế độ cộng hưởng thì tần số dao động riêng của thiết bị bằng tần số dao động của phễu rung là 100 Hz [1].

2.3. Tính toán thiết kế phễu rung cấp phôi

Phôi cần cấp là nắp chai bằng cao su sử dụng cho các sản phẩm vaccine trong ngành dược phẩm. Các thông số kỹ thuật của nắp chai vaccine được thể hiện bằng bản vẽ trong Hình 4.



Hình 4. Thông số kỹ thuật của phôi

Với kích thước và vật liệu bằng cao su như lựa chọn, đây là loại phôi rời có trọng lượng và kích thước nhỏ. Năng suất cấp phôi được thiết kế với số lượng 120 phôi/phút.

Bước của rãnh xoắn trên phễu [3]:

$$t \geq 1,3 \times 2h + b \tag{12}$$

Trong đó :

t - Bước của rãnh xoắn trên phễu;

h - Chiều cao của phôi $h = 9,3$ (mm);

b - Chiều dày vật liệu $b = 2$ (mm).

Vậy bước xoắn của phễu rung là :

$$t \geq 1,3 \times 2 \times 9,3 + 2 = 26,18 \text{ mm.}$$

Chọn $t = 30$ mm

Đường kính phễu:

Theo [2], ta có:

$$\pi \cdot D = \frac{t}{\tan \theta} \tag{13}$$

Trong đó θ là góc nghiêng của rãnh xoắn so với mặt phẳng nằm ngang,

Với $\theta = 1,5^\circ$ đường kính phễu là:

$$D = \frac{t}{\pi \cdot \tan \theta} = \frac{30}{\pi \cdot \tan 1,5^\circ} = 364,7 \text{ (mm)} \tag{14}$$

Chọn $D = 370$ mm

Bảng 1. Bảng thông số tính toán

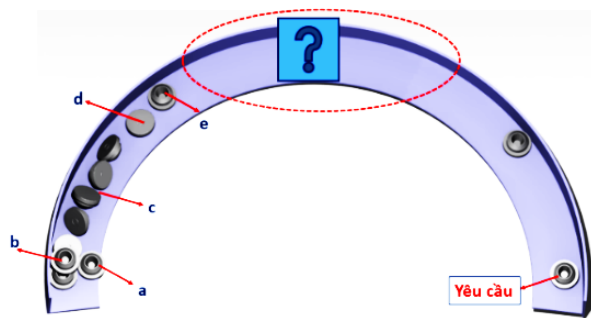
Thông số	Giá trị
Đường kính phôi (mm)	20
Chiều cao phôi (mm)	9.54
Thể tích của phôi V_p (mm ³)	1547
Tốc độ của phôi V_p (mm/s)	173
Góc nghiêng của phễu rung β (độ)	1.5
Chiều dày vành a (mm)	2
Bề rộng rãnh xoắn b (mm)	35
Bước xoắn phễu rung t (mm)	30
Đường kính phễu rung D (mm)	370
Chiều cao phễu rung H (mm)	100
Chiều cao bước xoắn h (mm)	70
Đường kính ngoài đế đỡ bowl d_1 (mm)	240
Đường kính trong đế đỡ bowl d_2 (mm)	180
Chiều dày đế đỡ bowl b_3 (mm)	25
Đường kính ngoài đế trên lò xo lá $d'1$ (mm)	270
Đường kính trong đế trên lò xo lá $d'2$ (mm)	50
Chiều dày đế trên lò xo lá $b'3$ (mm)	15
Đường kính đế $D1$ (mm)	290
Chiều cao đế $H1$ (mm)	70
Góc nghiêng của lò xo lá α (độ)	11
Chiều cao lò xo lá l (mm)	106
Chiều rộng lò xo lá b (mm)	35
Số hệ lò xo lá	3

2.4. Thiết kế cấu hình kênh điều hướng

2.4.1. Phân tích yêu cầu định hướng

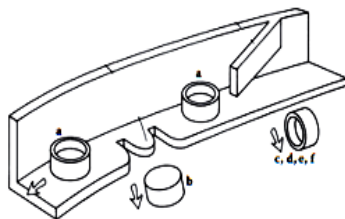
Với phôi là nắp chai vaccine bằng cao su dùng

cho được phẩm với hình dạng và kích thước như Hình 4, khi phôi ở trạng thái tự nhiên nằm trên các máng dẫn hướng có các trạng thái được thể hiện trên Hình 5: phôi xếp đè lên nhau (b), phôi ở trạng thái úp (d), phôi ở trạng thái ngửa (a) và phôi ở trạng thái nghiêng (c). Với yêu cầu đầu ra phôi ở trạng thái ngửa (yêu cầu) thì hệ thống kênh điều hướng và phân loại được thiết kế, lựa chọn và sắp xếp để loại bỏ các phôi sai hướng và lấy được các phôi ra đạt yêu cầu.

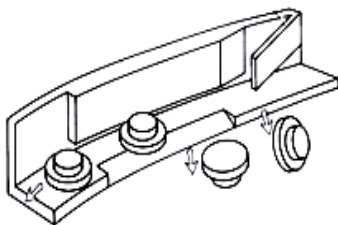


Hình 5. Trạng thái phôi trước định hướng và trạng thái phôi yêu cầu

2.4.2. Thiết kế kênh điều hướng



a) Phôi dạng vành khăn



b) Phôi dạng trụ bậc đặc

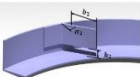
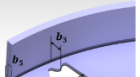
Hình 6. Kênh điều hướng cho phôi dạng vành khăn (a) và trụ bậc đặc (b)

Phôi nắp chai vaccine là chi tiết dạng trụ bậc tròn xoay và chi tiết dạng vành khăn, thuộc

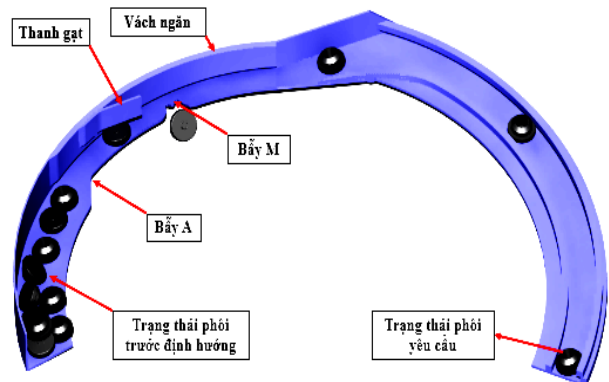
nhóm phôi loại II có tỷ lệ giữa chiều dài và đường kính $l/d < 1$ nên được định hướng theo 2 cấp [2, 4, 7]. Theo nghiên cứu đã được công bố trước đây [3] cho thấy hai loại kênh điều hướng và phân loại cho phôi tương đồng với hình dáng nắp chai vaccine như trên Hình 4. Các kênh điều hướng và phân loại bao gồm các bẫy cấp 1 dùng các thanh gạt để tách được nhiều trạng thái phôi đầu vào đặc biệt các phôi ở trạng thái xếp chồng lên nhau và các phôi nằm nghiêng khi di chuyển trên máng dẫn (Hình 5b, c). Các trạng thái phôi còn lại được các cơ cấu định hướng khác loại bỏ như phôi nằm nghiêng, nằm úp để đưa ra định hướng phôi yêu cầu. Trên Hình 6a, sử dụng bẫy thanh gạt để định hướng cấp 1, bẫy chữ M dùng để loại bỏ phôi nằm úp vành khăn và cho phép phôi ngửa đi qua. Trên Hình 6b, bẫy gồm vách dày làm nhỏ vùng dẫn hướng để làm lệch trọng tâm phôi ở trạng thái nằm úp và khi đi qua các khe hẹp này, nhờ lực trọng trường sẽ bị loại bỏ; cuối cùng chỉ còn phôi đạt yêu cầu (phôi nằm ngửa) đi ra đảm bảo quá trình cấp phôi đúng hướng 100%.

Bảng 2. Các thông số đặc điểm của các bẫy trên kênh điều hướng

Bẫy	Tính năng	Yêu cầu kích thước
 (bẫy khe nhỏ)	- Dùng để loại bỏ các phôi ở trạng thái chạy song song, loại bỏ một phôi và giữ lại một phôi. - Các trạng thái xếp chồng, nghiêng, úp đều có thể đi qua bẫy này.	- Bề rộng của rãnh xoắn b_1 thường lấy bằng đường kính của phôi để đảm bảo phôi đi được và không quá 2 phôi trong một thời điểm. - Góc lượn α_1 là góc vát công nghệ để tạo thành một dòng phôi di chuyển trên máng dẫn.

Bẫy	Tính năng	Yêu cầu kích thước
 <p>(bẫy thanh gạt)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Loại bỏ các trạng thái phôi có chiều cao lớn hơn h_2 như xếp chồng, nằm nghiêng. - Các trạng thái phôi như nằm úp, giữa đều có thể đi qua bẫy này. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bề rộng b_2 thường lấy bằng bề rộng của máng dẫn. Chiều cao h_2 được thiết kế lớn chiều cao phôi khi nằm ngửa, nằm úp và nhỏ hơn chiều cao phôi nằm nghiêng đảm bảo các phôi xếp chồng và nghiêng được loại bỏ đồng thời cho phép trạng thái phôi nằm ngửa, úp đi qua. - Góc lượn α_2 là góc tạo bởi thanh gạt và thành phễu được lựa chọn để đảm bảo phôi không bị kẹt và dễ loại bỏ các phôi không theo yêu cầu.
 <p>(bẫy M + vách dày)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Loại bỏ các trạng thái phôi nằm úp, cho phép phôi ở trạng thái nằm ngửa đi qua. 	<ul style="list-style-type: none"> - Kích thước b_3 (từ thành trong tới đỉnh chữ M) được lựa chọn bằng bán kính của phôi + 2(mm), bề rộng vách dày $b_5 = 1 \div 3$ (mm) để các phôi nằm úp bị lệch trọng tâm và rơi xuống phễu. - Chiều cao h_5 được lựa chọn lớn hơn chiều cao đáy lớn phôi từ 1-2 (mm) đảm bảo phôi nằm ngửa có một phần đi bên trong hốc. - Kích thước trung bình l_3 lớn hơn đường kính lớn nhất của phôi để các phôi bị loại bỏ có thể rơi về phễu.

Các bẫy được lựa chọn và sắp xếp trên rãnh xoắn tạo thành kênh điều hướng như Hình 7. Ban đầu (phôi trước khi định hướng) các phôi ở các trạng thái khác nhau, bẫy A tạo thành khe hẹp bề rộng đủ lớn chỉ để 1 phôi đi qua. Tiếp theo thanh gạt với nhiệm vụ loại bỏ các phôi có chiều cao bất thường như ở trạng thái xếp chồng lên nhau và phôi nằm nghiêng (cấp 1), khi các phôi đi qua thanh gạt, phân loại phôi cấp 2 gồm bẫy khe nhỏ đảm bảo một dòng phôi đi qua nghĩa là loại bỏ các phôi song song với phôi khác, bẫy M kết hợp với vách dày dùng để loại bỏ các phôi ở trạng thái nằm úp để được phôi yêu cầu là các phôi nằm ngửa.



Hình 7. Kênh điều hướng cho nắp chai vaccine trên mô hình số

Dựa vào mô hình mô phỏng và quá trình đánh giá thực nghiệm, tiến hành chế tạo kênh điều hướng và phễu rung cấp phôi theo các thông số đã thiết kế.



Hình 8. Kênh điều hướng cho nắp chai vaccine trên mô hình thực nghiệm

3. KẾT LUẬN

Quá trình di chuyển của phôi trên máng dẫn phụ thuộc rất nhiều các thông số động lực học như tần số, biên độ rung, hệ số ma sát giữa phôi và máng, góc nghiêng rãnh xoắn... Nhờ các lực tác động mà phôi có thể đi lên bằng trạng thái trượt và nhảy.

Bên cạnh các tham số về động lực học, hiệu suất của quá trình cấp phôi còn chịu sự tác động của cấu trúc hệ thống kênh điều hướng cũng như việc thiết lập các bẫy phân loại tương ứng.

Việc tính toán thiết kế kết cấu kênh dẫn hướng cho sản phẩm nắp chai vaccine bằng cao su dùng trong dược phẩm đảm bảo cấp phôi đúng hướng và đạt năng suất 120 phôi/phút dựa trên các cơ sở lý thuyết tính toán áp dụng trong điều kiện cụ thể.

Thiết kế kênh điều hướng cho sản phẩm nắp chai vaccine bằng cao su đảm bảo năng suất, tỷ lệ 100% phôi đúng hướng. Chế tạo thiết bị dựa vào kết quả thiết kế tính toán kênh dẫn hướng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Phương, Nguyễn Thị Hương Giang, *Cơ sở tự động hóa trong ngành cơ khí*, Trang 164-189, NXB Khoa học và Kỹ thuật, (2005).
- [2] Trần Văn Địch, Trần Xuân Việt, Nguyễn Trọng Doanh, Lưu Văn Nhung, *Tự động hóa quá trình sản xuất*, Trang 3-16, 378-383, NXB Khoa học kỹ thuật, (2001).
- [3] Châu Mạnh Lực, Phạm Song, *Trang bị công nghệ và cấp phôi tự động*, Trang 132-175, Đại học Bách Khoa Đà Nẵng, (2003).
- [4] G. Boothroyd, *Assembly automation and product design*, p29-89, Taylor & Francis Group, (2005).
- [5] Xin Wang, Liang Wang, Shun Zhang, Haoren Feng, Sai Li, Tongtong Wang, *Electromechanical coupling dynamics modeling of a bolted piezoelectric vibrating feeder*, pp.18-28, International Journal of Mechanical Sciences, (2025).
- [6] Žydrūnas Kavaliauskas, Igor Šajev, *Control of Vibratory Feeder Device Mechanical Frequency Using the Modification of the Sinusoidal Supply Voltage Signal*, pp.2-16, Journal of Low Power Electronics and Applications (2024).
- [7] J. C. Dina R. Berkowitz, *Designing Parts Feeder Using Dynamic Simulation*, pp. 1127–1132, Proc. - IEEE Int. Conf. Robot, (2017).
- [8] W. Ma and G. Fang, *Kinematics analysis and experimental investigation of an inclined feeder with horizontal vibration*, pp. 1–11, Mech. Eng. Sci, (2015).

Thông tin liên hệ: **Nguyễn Văn Mùi**

Điện thoại: 0912878799 - Email: nvmui@uneti.edu.vn

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.