

NGHIÊN CỨU KHẢO SÁT CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN CHO MÁY ĐÚC BÓ VỈA BÊ TÔNG TỰ HÀNH

Lưu Đức Thạch¹, Nguyễn Anh Tuấn², Vũ Anh Tuấn³, Nguyễn Ngọc Linh⁴

Tóm tắt: Bài báo trình bày mô hình nghiên cứu vít đùn sử dụng phương trình Navie Stock để thiết lập các mối quan hệ cơ bản của vít đùn như lưu lượng Q , áp lực Δp với các thông số hình học và động học. Kết quả số cho phép đánh giá ảnh hưởng của tốc độ vít đến lưu lượng và áp lực tạo hình.

Từ khóa: bê tông, bó vỉa, vít đùn

Summary: This paper presents the model for screw extruder derived from the Navie Stock equation to describe the relationship of the flow rate Q , the pressure drop Δp to the geometrical and dynamical parameters. The numerical results allow to evaluate the influence of the speed of screw extruder on the flow rate and the pressure drop.

Keywords: screw extruder, concrete, curb machine

Nhận ngày 02/7/2012, chỉnh sửa ngày 23/7/2012, chấp nhận đăng ngày 30/8/2012

1. Đặt vấn đề

Các máy đúc bó vỉa bê tông tự hành có kết cấu nhỏ gọn, cơ động và năng suất cao được dùng cho các công trình có quy mô lớn cũng như vừa và nhỏ ở các nước phát triển trên thế giới.

Ở Việt Nam hiện nay, loại thiết bị này mới chỉ bắt đầu xuất hiện, tuy nhiên khả năng áp dụng còn hạn chế do chưa có đầy đủ cơ sở lý thuyết cũng như kinh nghiệm để vận hành và điều chỉnh thiết bị phù hợp với yêu cầu công tác.

Cơ sở lý thuyết quá trình đùn ép đã được nhiều nhà nghiên cứu áp dụng cho rất nhiều ứng dụng đa dạng như Z. Tadmor, W. Michaeli cho quá trình đùn ép nhựa và cao su [7,8,9], J.M. Harper, Frank Händle (Ed.) cho quá trình đùn Ceramic [10],... Mặc dù vậy, thực tế, có rất ít tài liệu nghiên cứu mô tả về quá trình đùn ép tạo hình bê tông, các tài liệu hầu hết chỉ tập trung vào các sáng chế. Các nhà sản xuất máy đúc bó vỉa bê tông tự hành hàng đầu như Gomaco, Power curb chỉ giới thiệu về thiết bị qua các thông số kỹ thuật chính. Thông qua bài toán tương tác giữa máy và hỗn hợp bê tông, bằng công cụ toán học và phần mềm Mathematical có thể thiết lập và khảo sát một số quan hệ làm cơ sở xác định các thông số cơ bản cho vít đùn để tạo hình bó vỉa bê tông.

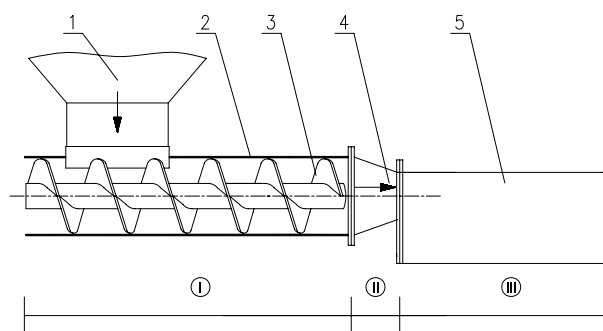
Máy đùn ép trục vít đơn thường được sử dụng rộng rãi do cấu tạo đơn giản, vật liệu được đùn ép thành dòng liên tục. Vật liệu tạo hình rất đa dạng: nhựa, đất sét, hỗn hợp bê tông, nhôm, thép, cao su,... Máy có cấu tạo bao gồm: Vít đùn 3 nằm trong vỏ vít 2, có cửa nạp nằm dưới phễu cấp liệu 1, có cửa xả lắp khuôn đùn 4. Khi dẫn động quay vít đùn 3 vật liệu sẽ được vận chuyển từ cửa nạp tới khuôn đùn, được làm chặt và đẩy ra ngoài thông qua miệng khuôn đùn.

¹TS, Khoa Cơ khí Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng. Email: luuducthach@gmail.com

²ThS, Khoa Cơ khí Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng.

³KS, Khoa Cơ khí Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng.

⁴ThS, Trường Cao đẳng Xây dựng số 1.



Hình 1. Cấu tạo máy đùn ép trực vít đơn

1. Phễu cấp liệu; 2. Vỏ vít; 3. vít đùn; 4. Khuôn côn; 5. Khuôn thẳng;
I: Vùng tạo áp; II: Vùng làm chặt sơ bộ; III: Vùng làm chặt tạo hình

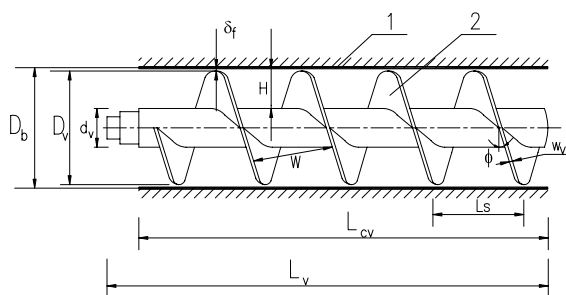
2. Mô hình nghiên cứu vít đùn

Trong thực tế rất khó mô tả chính xác quỹ đạo chuyển động của vật liệu trong rãnh trực vít. Có nhiều mô hình theo đó có nhiều giả thiết nghiên cứu vít đùn được xây dựng để mô tả quỹ đạo chuyển động của các hạt vật liệu hay dòng vật liệu.

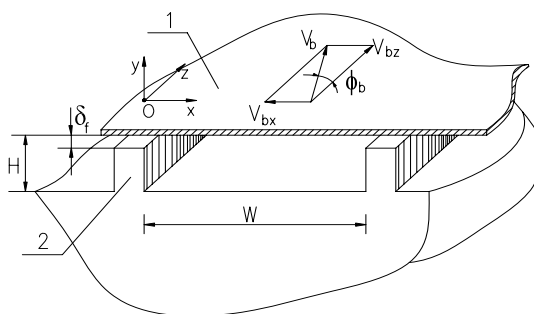
Trong bài báo này trình bày mô hình nghiên cứu vít đùn [9,10] với các giả thiết sau:

- Hỗn hợp bê tông trong vít đùn là dòng Newton;
- Ảnh hưởng của trọng lực, lực quán tính và lực ly tâm là không đáng kể khi so sánh với độ nhớt và áp lực;
- Độ cong rãnh không đáng kể ($H \ll D$);
- Rãnh trải ra là hình chữ nhật;
- Khối lượng riêng của bê tông là hằng số;
- Dòng chảy là đều tại mọi điểm;
- Không có sự trượt tại thành bên;
- Độ nhớt độc lập với vận tốc trượt, áp lực và nhiệt độ.

Trong mô hình nghiên cứu này, hệ trục tọa độ được đặt trên trục vít, coi trục vít là cố định, vỏ vít có chuyển động quay với tốc độ n (v/s). Do tác dụng quay của vỏ sẽ kéo vật liệu trong rãnh chuyển động và xảy ra hiện tượng trượt ở trong dòng. Khoảng không giữa vít và thành vỏ là một rãnh hình xoắn ốc. Khai triển rãnh này thành một bề mặt phẳng thu được rãnh chữ nhật thẳng.



Hình 2. Thông số hình học của vít đùn



Hình 3. Hình dạng của rãnh vít khai triển thành mặt phẳng

1. Thành vỏ vít; 2. Trục vít

trong đó:

L_s - Bước vít (m)

H - Chiều sâu rãnh vít (m)

δ_f - Khe hở đỉnh cánh vít và thành trong vỏ vít (m)

ϕ - Góc nâng ren vít (độ) $\phi = \arctg\left(\frac{L_s}{\pi D_b}\right)$

w_v - Chiều dày cánh vít (m)

D_v - Đường kính đỉnh cánh vít (m)

d_v - Đường kính trục vít (m)

W - Chiều rộng rãnh vít (m)

L_{cv} - chiều dài phần mang cánh vít (m)

$W = L_s \cos \phi - w_v$

L_v - chiều dài toàn bộ vít (m)

Khai triển vỏ và trục vít thành hai tấm phẳng song song vô hạn (hình 3), trục vít là tấm dưới cố định, vỏ là tấm phía trên bao toàn bộ rãnh và chuyển động với vận tốc không đổi V_b theo góc ϕ_b với là tốc độ quay vỏ vít n:

$$V_b = \pi \cdot n \cdot D_v \quad (1)$$

Vận tốc của vỏ có thể được phân ra thành 2 thành phần: vận tốc dọc rãnh theo phương z và vận tốc ngang rãnh theo phương x là:

$$V_{bx} = V_b \cos \phi_b \quad (2.a)$$

và

$$V_{bz} = V_b \sin \phi_b \quad (2.b)$$

Vận tốc dọc rãnh V_{bz} kéo dòng vật liệu về phía cửa ra, vận tốc ngang rãnh V_{bx} tạo ra chuyển động theo phương ngang rãnh của dòng vật liệu.

Theo định luật 2 Newton, phương trình chuyển động của dòng vật liệu là

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho v \cdot \nabla v = -\nabla P + \nabla^2 \cdot \tau + \rho g \quad (3)$$

trong đó: ∇ là toán tử vi phân, ρ là khối lượng riêng của vật liệu (kg/m^3), P là gradient áp suất dòng, v vận tốc dòng (m/s), g là gia tốc trọng trường (m/s^2), τ là ứng suất trượt (N/m^2).

Thay $\tau = \eta \cdot \gamma$ với η là độ nhớt vật liệu (N.s/m^2), γ là tốc độ trượt ($1/\text{s}$) vào (3) thu được phương trình Navier–Stokes tổng quát viết cho chuyển động của dòng Newton là:

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho v \cdot \nabla v = -\nabla P + \eta \nabla^2 v + \rho g \quad (4)$$

trong đó: $\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho v \cdot \nabla v$: lực quán tính; ∇P : áp lực thủy động; $\eta \nabla^2 v$: lực nhớt; ρg : lực khối

Khai triển phương trình Navier–Stokes (4) trong hệ tọa độ Đề các, ta có:

$$\rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \eta \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) + \rho g_x$$

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial P}{\partial y} + \eta \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right) + \rho g_y \\ \rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial P}{\partial z} + \eta \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) + \rho g_z \end{aligned} \quad (5)$$

Khi chuyển động của dòng vật liệu là đều ($\partial v / \partial t = 0$), ổn định ($\partial \rho / \partial t = 0$) và không nén được ($\rho = \text{const}$) [5], ta có phương trình liên tục của dòng là:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (6)$$

Khi dòng được phát triển đầy đủ theo hướng trục z, thì

$$\frac{\partial v}{\partial z} = 0 \quad (7)$$

Tương tự, khi dòng chảy trong phương ngang rãnh cũng được phát triển đầy đủ theo hướng trục x, ta có:

$$\partial v_x / \partial x = 0, \partial v_y / \partial x, \partial v_y / \partial x = 0, \partial v_z / \partial x = 0 \quad (8)$$

Từ phương trình liên tục (6), có $\frac{\partial v_y}{\partial y} = 0$ hay $v_y = C$, với C là hằng số. Vì coi dòng chỉ có chuyển động theo phương dọc rãnh (trục z) và phương ngang rãnh (trục x), dòng không có chuyển động theo trục y nên:

$$v_y = 0 \quad (9)$$

Thay vào (7), (8), (9) vào hệ phương trình (5) thu được:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \eta \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \quad (10)$$

$$\partial P / \partial y = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \eta \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} \right) \quad (12)$$

Công thức (11) cho thấy áp lực là một hàm phụ thuộc x và z. Trong công thức (10), vế bên phải chỉ là một hàm chỉ phụ thuộc y, trong khi đó, vế bên trái áp lực P là một hàm của x và z. Không bên nào phụ thuộc vào biến của nhau, nên cả hai vế phải bằng một hằng số hay

$\frac{\partial P}{\partial x} = \eta \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} = \text{const}$. Tích phân công thức (10) được vận tốc dòng theo phương x là:

$$v_x = \frac{y^2}{2\eta} \left(\frac{\partial P}{\partial x} \right) + C_1 y + C_2 \quad (13)$$

Các hằng số C_1 và C_2 được xác định từ các điều kiện biên $v_x(0) = 0$ và $v_x(H) = -V_{bx}$.

Đặt $u_x = v_x / V_{bx}$ gọi là profile vận tốc và $\zeta = y / H$, thay các điều kiện biên vào công thức (13) thu được profile vận tốc theo phương ngang rãnh

$$u_x = -\zeta + \zeta(\zeta - 1) \left(\frac{H^2}{2\eta V_{bx}} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} \right) \quad (14)$$

Công thức profile vận tốc này theo phương ngang rãnh phụ thuộc vào gradient áp lực theo phương ngang rãnh. Nhưng khi bỏ qua dòng rò rỉ, lưu lượng dòng chảy theo phương ngang rãnh là bằng 0.

$$\int_0^1 u_x d\zeta = 0 \quad (15)$$

thay (14) vào (15) và lấy tích phân, xác định được gradient áp lực:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = -6\eta \frac{V_{bx}}{H^2} = -6\eta \frac{\pi n D_b \sin \phi_b}{H^2} \quad (16)$$

Ta thấy gradient áp lực theo phương ngang rãnh là tỷ lệ thuận với tốc độ vít và đường kính thành vỏ, và tỉ lệ nghịch với bình phương của chiều sâu rãnh. Thay công thức (16) vào công thức (14), có được profile vận tốc theo phương ngang rãnh:

$$u_x = \zeta(2 - 3\zeta) \quad (17)$$

Theo hướng xuôi chiều rãnh, với các điều kiện biên $v_z(x, 0) = 0$; $v_z(x, H) = V_{bz}$, $v_z(0, y)$; $v_z(W, y) = 0$ giải phương trình vi phân (12) xác định được profile vận tốc $u_z = v_z / V_{bz}$ là:

$$u_z = \frac{4}{\pi} \sum_{i=1,3,5}^{\infty} \frac{\sinh(i\pi h \zeta)}{i \sinh(i\pi h)} \sin(i\pi \chi) + \left(\frac{H^2}{2\eta V_{bz}} \frac{\partial P}{\partial z} \right) \left[\zeta^2 - \zeta + \frac{8}{\pi^3} \sum_{i=1,3,5}^{\infty} \frac{\cosh(i\pi(\chi - 0.5)/h)}{i^3 \cosh(i\pi/2h)} \sin(i\pi \zeta) \right] \quad (18)$$

trong đó đặt $\chi = x / W$ và $h = H / W$.

Lưu lượng dòng Q xác định được bằng cách tích phân công thức (18) theo phương ngang rãnh:

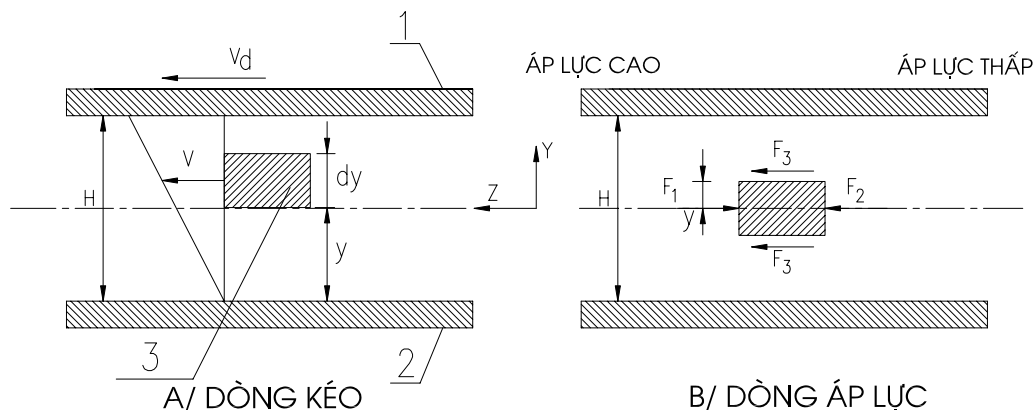
$$Q = W.H.V_{bz} \int_0^1 \int_0^1 u_z d\zeta d\chi \quad (19)$$

dẫn đến:

$$Q = Q_d + Q_p = \frac{V_{bz}WH}{2} F_d + \frac{WH^3}{12\eta} \left(-\frac{\Delta P}{L} \right) F_p \quad (20)$$

$$F_d = \frac{16W}{\pi^3 H} \sum_{i=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{i^3} \tanh\left(\frac{i\pi H}{2W}\right) \quad (21.a)$$

$$F_p = 1 - \frac{192H}{\pi^5 W} \sum_{i=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{i^5} \tanh\left(\frac{i\pi W}{H}\right) \quad (21.b)$$



Hình 4. Mô hình dòng cản (A) và dòng áp lực (B)

1. Tấm di động; 2. Tấm cố định; 3. Phần tử vật liệu H - Chiều sâu rãnh vít; V: vận tốc của phần tử vật liệu; V_d : vận tốc kéo; y: khoảng cách từ vị trí cố định đến phần tử vật liệu; F_1, F_2, F_3, F_4 : lực tác động lên phần tử vật liệu do chênh lệch áp lực trong dòng áp lực

trong đó:

Q_d đại diện của dòng kéo, do chuyển động tương đối giữa hai tấm song song cố định và di động làm cho dòng vật liệu được kéo chuyển động theo hướng dọc trục vít (hình 4A);

Q_p : đại diện của dòng áp lực, do ảnh hưởng cản chuyển động giữa hai vị trí áp lực cao và áp lực thấp ở hai đầu cửa nạp và cửa xả của vít đùn (hình 4B);

F_d và F_p gọi là các hệ số hình dạng cho dòng kéo và dòng áp lực có giá trị <1, đặc trưng cho ảnh hưởng cản của cánh vít đối với dòng giữa hai tấm song song vô hạn.

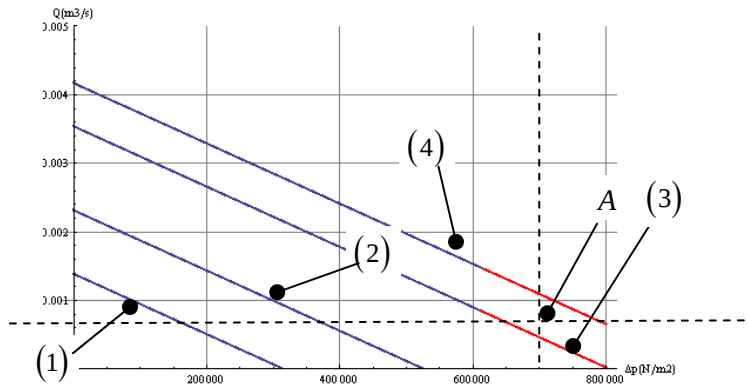
3. Khảo sát các thông số cơ bản của máy đùn bó vữa trên sản phẩm bó vữa bê tông có kích thước rộng x cao = 200(mm) x 180(mm)

Từ phương trình (20), tiến hành khảo sát các thông số cơ bản của máy đùn bó vữa bê tông cụ thể bằng phần mềm Mathematical 7.0. Năng suất của máy đùn 60(m/h) tương đương 2,5m³/h cho bó vữa có kích thước 200(mm) x 180mm.

Các đặc điểm của hỗn hợp bê tông mác 200 là: ứng suất trượt tới hạn $\tau_{01}=2000$ (N/m²); khối lượng riêng 2200kg/m³; độ nhớt khảo sát từ 25 - 150 (N.s/m²), độ sụt 20(mm).

3.1 Khảo sát mối quan hệ lưu lượng Q và áp lực Δp (đường đặc tính của vít đùn) ứng với các giá trị tốc độ vít n khác nhau

Hình 5 thể hiện đường đặc tính vít ứng với một tốc độ trục vít cụ thể, với mỗi giá trị lưu lượng và áp lực xác định trong khuôn đùn, chỉ có một giá trị tốc độ vít tương ứng, gọi là điểm làm việc. Khi lưu lượng qua vít đùn tăng thì áp lực của vít giảm tuyến tính và ngược lại.



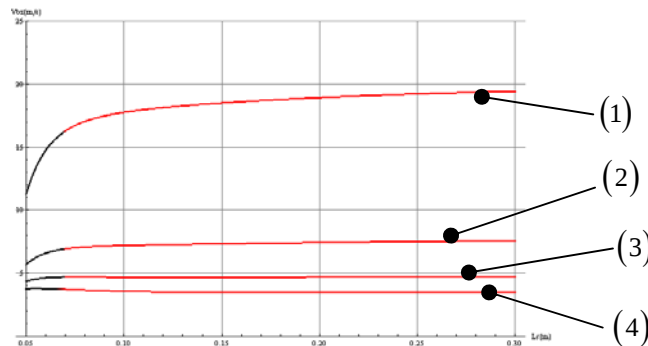
Hình 5. Đường đặc tính của vít đùn

- Đường (1): tương ứng tốc độ vít $n = 3\text{v/s}$; đường (2): tương ứng tốc độ vít $n = 5\text{v/s}$; đường (3): tương ứng tốc độ vít $n = 7.64\text{v/s}$; đường (4): tương ứng tốc độ vít $n = 9\text{v/s}$;
- A: điểm làm việc, với $\Delta p = 617378.4 \text{ N/m}^2$, $Q_k = 0.00083\text{m}^3/\text{s}$

3.2 Khảo sát quan hệ tốc độ dòng bê tông qua vít V_{bz} và bước vít L_s

Kết quả khảo sát trong hình 6 cho thấy:

- Với bước vít $L_s < 0,10\text{m}$, tốc độ dòng bê tông qua vít V_{bz} ứng với các giá trị độ nhớt của bê tông không ổn định, lúc tăng lúc giảm. Với bước vít $L_s \geq 0,10\text{m}$, tốc độ dòng bê tông qua vít V_{bz} ổn định, có mối quan hệ gần như tuyến tính và dòng chảy của bê tông không phụ thuộc nhiều vào chiều dài của bước vít.



Hình 6. Đồ thị ảnh hưởng của độ nhớt bê tông η đến tốc độ dòng bê tông qua vít V_{bz} và bước vít L_s

trong đó: Đường cong (1): độ nhớt $\eta = 25\text{Ns/m}^2$; đường cong (2) độ nhớt $\eta = 65\text{Ns/m}^2$; đường cong (3) độ nhớt $\eta = 105\text{Ns/m}^2$; đường cong (4) độ nhớt $\eta = 145\text{Ns/m}^2$;

- Độ nhớt của bê tông η thay đổi từ 25Ns/m^2 đến 65Ns/m^2 thì tốc độ dòng bê tông qua vít V_{bz} thay đổi nhiều. Khi tăng η lớn hơn 65Ns/m^2 thì tốc độ dòng bê tông qua vít giảm của V_{bz} ít hơn.

4. Ứng dụng cụ thể

Từ các kết quả nghiên cứu và khảo sát, chúng tôi đã ứng dụng cho việc thiết kế, chế tạo và lắp đặt cho máy đúc bó vỉa bê tông tự hành, hình 7.



Hình 7. Hoạt động của máy đúc bó vỉa bê tông tự hành

5. Kết luận

- Xây dựng mô hình máy đùn ép với vật liệu là hỗn hợp bê tông, thiết lập các công thức của trục vít làm cơ sở khảo sát lựa chọn các thông số cơ bản của máy.
- Xây dựng thuật toán khảo sát các thông số của máy nhờ phần mềm Mathematical 7.0 bằng các công thức đã được xác lập.
- Đã xác định sơ bộ các thông số cơ bản của máy và tìm ra các thông số làm việc của máy sao cho kết cấu của máy nhỏ gọn đảm bảo được dòng chảy của vật liệu trong vít đùn. Đường kính thành trong trục vít $D_b = 0.15$ (m); Bước vít $L_s = 0.15$ (m); Góc xoắn vít $\phi = 17.65$ (độ); đường kính trục vít $d_v = 0.05$ (m); Khe hở cánh và thành trong vỏ vít $\delta_f = 0.002$ (m)
- Kết quả này đã được sử dụng làm cơ sở cho việc thiết kế và chế tạo máy đùn bó vỉa bê tông tự hành.

Tài liệu tham khảo

1. Vũ Liêm Chính, Phạm Quang Dũng, Trương Quốc Thành (2002), *Cơ sở thiết kế Máy xây dựng*, Hà Nội.
2. Đoàn Tài Ngo, Nguyễn Thiệu Xuân, Trần Văn Tuấn, Nguyễn Thị Mai, Nguyễn Kiểm Anh (2000), *Máy và thiết bị sản xuất vật liệu xây dựng*, NXB Xây dựng.
3. Nguyễn Văn Phiêu (2006), *Thiết bị công nghệ vật liệu xây dựng*, NXB Xây dựng.
4. Trần Văn Tuấn (2005), *Cơ sở kỹ thuật rung trong xây dựng và sản xuất vật liệu xây dựng*, NXB Xây dựng.
5. Nguyễn Anh Tuấn (2010), *Nghiên cứu tính toán, xác định các thông số cơ bản của máy đúc bó vỉa bê tông tự hành*, Luận văn Thạc sỹ kỹ thuật. Trường Đại học xây dựng.
6. ACI 309R-96. *Guide for Consolidation of Concrete*. Reported by ACI Committee 309 - 1996.
7. Tim A. Osswald, Juan P. Hernández-Ortiz (2006), *Polymer Processing - Modeling and Simulation*, Carl Hanser Verlag, Munich.
8. Natti S.Rao, Gunter Schumacher (2004), *Design formulas for Plastic Engineers*. Hanser Publishers, Munich.
9. Zehev Tadmor and Costas G.gogos (2006), *Principles of Polymer Processing*. John Willey & Sons Publishers, New Jersey.
10. Frank Händle (Ed.) (2007), *Extrusion in Ceramic*, Springer.