

# NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH VA CHẠM BÚA VÀ TẮM CỤC LẮNG CỦA BỘ GỖ RŨ BỤI, TRONG THIẾT BỊ LỌC BỤI BẰNG ĐIỆN

## THE DYNAMICS OF HAMMER AND PLATES COLLECTION IN ELECTROSTATIC PRECIPITATORS

Nguyễn Tiến Sỹ,  
Hoàng Văn Gọt, Dương Văn Long

### TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu động lực học của quá trình va chạm giữa búa và tấm trong thiết bị lọc bụi tĩnh điện, khi chịu lực kích động tuần hoàn. Bài báo này đề cập đến lực, xung lực, ứng suất và biến dạng để giải quyết vấn đề liên quan giữa hiệu suất rũ bụi với lực tác động của búa. Phần mềm Ansys là công cụ hỗ trợ để giải quyết các vấn đề nêu trên.

**Từ khóa:** Lực kích động, ứng suất, biến dạng, tấm cục lắng.

### ABSTRACT

Research details the dynamics of hammer and plates collection in electrostatic precipitators, when subjected to periodic agitation. This article deals with force, impulse, stress and strain to solve the problem of the dusting performance with the impact force of the hammer. The ANSYS software will be a support tool for solving the above problems.

**Keywords:** Agitation force, stress, strain, collecting plates.

### Nguyễn Tiến Sỹ

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

Hoàng Văn Gọt, Dương Văn Long

Viện Nghiên cứu Cơ khí, Bộ Công Thương

Email: tiensyhau.edu@gmail.com

Ngày nhận bài: 02/08/2017

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 09/10/2017

Ngày chấp nhận đăng: 15/10/2017

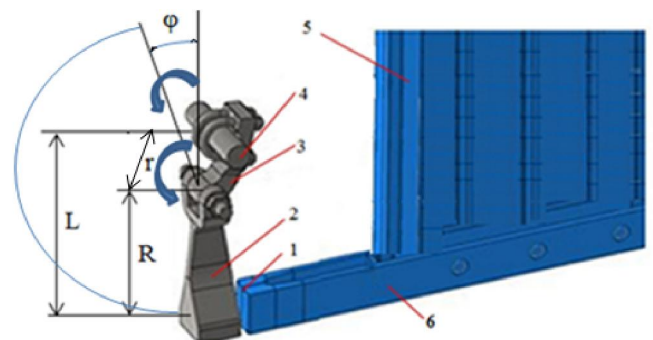
### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dưới tác dụng của lực điện trường, bụi sẽ bám trên bề mặt tấm cục lắng theo các lớp tầng dần, các yếu tố trọng lực của hạt bụi, vận tốc của dòng không khí và rung động cũng có thể làm cho bụi bị tách ra khỏi bề mặt tấm cục lắng. Tuy nhiên lượng bụi tự tách này là không đáng kể, mặt khác nếu lớp bụi bám dày sẽ ảnh hưởng tới khả năng thu bụi, do vậy cần thiết phải tác động một lực cưỡng bức vào điện cực lắng thông qua búa gõ. Giá trị xung lực đó phải tạo ra dao động với gia tốc đủ lớn, thắng được lực hút tĩnh điện và lực bám dính cơ học để tách được các mảng bụi ra khỏi bề mặt cục lắng theo mỗi chu kỳ gõ.

### 2. NGUYÊN LÝ KẾT CẤU BỘ GỖ RŨ BỤI

Hệ thống gõ bằng búa được lắp trên trục dẫn động như hình 1. Khi trục 4 quay, búa 2 sẽ chuyển động quay tròn

quanh trục 4 và tại thời điểm phương của búa hợp với phương thẳng đứng một góc  $\varphi$  thì búa sẽ thực hiện chuyển động rơi tự do và tác động vào đe một lực kích động  $F_{(t)}$ . Lực gõ tạo ra được kiểm soát bởi trọng lượng búa  $m_1$  hoặc bán kính quay của búa  $R$ , tần suất và chu kỳ gõ có thể thay đổi bằng cách cài đặt chế độ làm việc trong hệ thống điều khiển.



Hình 1. Mô hình kết cấu bộ gõ rũ bụi

(1 - Đe, 2 - Búa gõ, 3 - Tay nối, 4 - Trục quay, 5 - Tấm cục thu, 6 - Thanh truyền)

Có thể phân tích kết cấu bộ gõ theo các cụm chi tiết như sau:

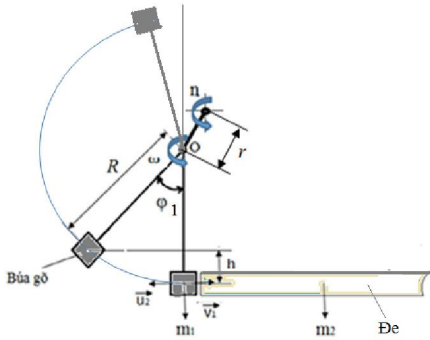
\* Cụm búa gõ: Búa gõ có khối lượng  $m_1$ , hoạt động dựa trên nguyên lý rơi tự do khi đạt thế năng cực đại, kết cấu cụm búa gõ gồm hai cánh tay nối với nhau bởi khớp động, trong đó cánh tay có bán kính  $r$  làm nhiệm vụ nâng búa, còn cánh tay có bán kính  $R$  thực hiện nhiệm vụ rơi tự do để tạo ra xung lực va chạm với đe.

\* Cụm đe và tấm cục lắng: Các tấm cục lắng được liên kết cố định tháo được với dầm treo và với đe, có tổng khối lượng  $m_2$ . Khi búa có khối lượng  $m_1$  thực hiện chuyển động rơi tự do và tác động vào đe gây nên một xung lực va chạm và lan truyền dao động trên bề mặt các tấm cục lắng.

### 3. MÔ HÌNH HÓA BỘ GỖ RŨ BỤI BẰNG BÚA

Va chạm của búa và tấm cục lắng là quá trình truyền xung lực va chạm do đó vật liệu chế tạo búa và đe không được gây ra biến dạng, vì vậy quá trình va chạm là hoàn toàn đàn hồi.

Bỏ qua trọng lượng tay quay nên búa giống như một chất điểm (quả cầu gắn vào thanh quay) khi đó sơ đồ va chạm của búa gõ được mô tả như hình 2.



Hình 2. Mô hình của bộ gõ rữ bụi

**3.1. Lực gõ búa trước khi va chạm**

Theo định luật bảo toàn cơ năng

$$T + \Pi = T^0 + \Pi^0$$

Tại thời điểm ban đầu  $T^0 = 0, \Pi^0 = 0 (\varphi = 0)$

Trong đó : T là động năng của búa;  $\Pi$  là thế năng của búa.

$$T = \frac{1}{2} m_1 \cdot v_1^2$$

$$\Pi = m_1 g h = m_1 g (R - R \cos \varphi_1)$$

Theo định luật bảo toàn động lượng ta có:

$$\frac{1}{2} m_1 \cdot v_1^2 = m_1 g (R - R \cos \varphi_1) \tag{1}$$

$$v_1^2 = 2 g R (1 - \cos \varphi_1)$$

$$v_1 = \sqrt{2 g R (1 - \cos \varphi_1)}$$

Trước lúc va chạm ( $\varphi = \pi$ ), nên vận tốc của búa trước khi va chạm là:

$$v_1^{tr} = \sqrt{4 g R} \tag{2}$$

Tại ( $t_0 = 0$ ) tính được lực gõ trước khi va chạm:

$$P(t) = m_1 \cdot \Delta V / \Delta t$$

Với khối lượng búa gỗ  $m_1 = (7 \div 9 \text{kg})$  thì giá trị lực gõ ban đầu được ghi trong bảng 1.

Bảng 1. Lực gõ của búa trước khi va chạm

TT	Trọng lượng búa (kg)	Góc nghiêng $\varphi_1$ (rad)	Bán kính quay R(m)	Lực gõ P(t) (N)
1	70	180	0.29	236.015
2	90	180	0.29	303.448

**3.2. Xung lực va chạm**

Quá trình va chạm chia thành hai giai đoạn: Biến dạng và khôi phục khi đó xung lực va chạm trong từng giai đoạn là  $S_1$  (trước va chạm),  $S_2$  (sau va chạm).

$$\vec{S}_1 = \int_0^t \vec{N}_1 dt, \vec{S}_2 = \int_0^t \vec{N}_2 dt \tag{3}$$

Áp dụng định luật động lượng cho từng giai đoạn

\* Giai đoạn biến dạng (hai vật cùng vận tốc v):

$$\text{Búa: } m_1 v - m_1 v_1 = -S_1 \tag{4}$$

$$\text{Thanh: } m_2 v - m_2 v_2 = S_2 \tag{5}$$

$$v_1 : \text{Vận tốc búa trước va chạm: } v_1 = v_1^{tr} = \sqrt{4 g R}$$

$$v_2 : \text{Vận tốc thanh trước va chạm: } v_2 = 0$$

\* Giai đoạn khôi phục:  $S_2 = k \cdot S_1$  ( $k = 1$  là hệ số khôi phục trong va chạm hoàn toàn đàn hồi).

$$\text{Búa: } m_1 v_1' - m_1 v = -S_2 \tag{6}$$

$$\text{Thanh: } m_2 v_2' - m_2 v = S_2 \tag{7}$$

( $v_1'$  là vận tốc búa sau va chạm,  $v_2'$  là vận tốc thanh sau va chạm)

Từ (4) và (5)

$$\rightarrow v = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot \sqrt{4 g R}$$

$$\text{Thay vào (6)} \rightarrow \begin{cases} S_1 = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \cdot v_1 = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \cdot \sqrt{4 g R} \\ S_2 = k \cdot S_1 \end{cases} \tag{8}$$

$$\text{Từ (7) và (8)} \rightarrow \begin{cases} v_1' = v_1 - (1+k) \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot v_1 \\ v_2' = (1+k) \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot v_1 \end{cases} \tag{9}$$

Vì va chạm là hoàn toàn đàn hồi nên  $k = 1$  thay số tìm được vận tốc của búa và của thanh sau khi va chạm là:

$$v_1' = \left( 1 - \frac{2 m_2}{m_1 + m_2} \right) \cdot \sqrt{4 g R} \tag{9.1}$$

$$v_2' = \frac{2 m_1}{m_1 + m_2} \cdot \sqrt{4 g R} \geq [v_2'] \tag{9.2}$$

$[v_2']$ : Vận tốc cần thiết của tấm cực lắng để có thể tách được bụi

Vận tốc của thanh sau khi va chạm thể hiện mối liên hệ tương quan giữa khối lượng của búa gỗ và khối lượng của tấm cực lắng phải thỏa mãn điều kiện (9.2).

**3.3. Bài toán va chạm búa thanh**

Xét va chạm của búa khối lượng  $m_1$  và thanh chiều dài L khối lượng  $m_2$ , mật độ khối lượng thanh  $\rho$ , Module đàn hồi là E,  $v_1$  là vận tốc ban đầu của búa (hình 3).



Hình 3. Mặt cắt của thanh va chạm

Ta có phương trình vi phân va chạm dọc của thanh:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \lambda^2 \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \tag{10}$$

Với :  $u = u(x,t)$  dịch chuyển dọc của tiết diện ngang của

$$\text{thanh, } \lambda = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

+ Điều kiện ban đầu ( $t = 0$ ), điều kiện biên ( $x = 0, x = L$ )

$$U \Big|_{t=0} = U(x,0), \quad 0 < x < L \tag{11.1}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} \Big|_{t=0} = U'(x,0) = \begin{cases} -v_1 & (x=l) \\ 0 & (0 < x < l) \end{cases} \tag{11.2}$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{\partial U(0,t)}{\partial x} = 0 \tag{11.3}$$

Tại điểm  $x = 0$  ứng suất  $\delta_x$  tại tiết diện đầu thanh đều bằng lực quán tính của tải trọng va chạm.

$$\rightarrow \delta_x = E.F. \frac{\partial U}{\partial x} = m_2 \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}$$

$$\rightarrow m.l. \frac{\partial^2 U(t,l)}{\partial t^2} = -\lambda^2 \cdot \frac{\partial U(t,l)}{\partial x} \tag{11.4}$$

$$\left( m = \frac{m_1}{m_2}, x = l \right)$$

Giải bài toán tìm nghiệm của (10) sử dụng phương pháp Dalambre:

Dựa vào biến số mới:

$$\xi = \lambda - x, H = \lambda.t + x \rightarrow x = \frac{1}{2}(H - \xi), t = \frac{1}{2\lambda}(H + \xi)$$

$$U(x, t) = U(\xi, H)$$

Phương trình (10) trở thành:

$$4\lambda^2 \frac{\partial^2 U}{\partial \xi \rho H} = 0 \leftrightarrow \frac{\partial}{\partial H} \left( \frac{\partial U}{\partial \xi} \right)$$

$$\rightarrow U = \int \varphi(\xi) \partial \xi + \psi(H) = \psi(\xi) + \psi(H); \frac{\partial U}{\partial \xi} = Q(\xi)$$

Chuyển về biến cũ ta có nghiệm tổng quát của phương trình (10) có dạng:

$$U = \psi(\lambda t - x) + \psi(\lambda t + x) \tag{12}$$

Đạo hàm (10) theo t, x ta được:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \lambda [\psi(\lambda t - x) + \psi'(\lambda t + x)] \tag{13}$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} = -\psi'(\lambda t - x) + \psi'(\lambda t + x) \tag{14}$$

Từ điều kiện biên và phương trình (14) ta có:

$$\frac{\partial U}{\partial x}(x=0) = -\psi'(\lambda t) + \psi'(\lambda t) = 0$$

Suy ra:  $\psi'(\lambda t) = \psi'(\lambda t) \quad \psi'(\lambda t - x) = \psi'(\lambda t - x)$   
 $\psi(\lambda t - x) = \psi(\lambda t - x)$   
 $u = \psi(\lambda t - x) + \psi(\lambda t + x) \tag{15}$

Từ điều kiện ban đầu (13),(14) ta có:

$$\frac{\partial u}{\partial t} \Big|_{t=0} = \lambda [\varphi'(-x) + \varphi'(x)] = \lambda [\psi'(-x) + \psi'(x)] = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=0} = \varphi'(-x) + \varphi'(x) = -\psi'(-x) + \psi'(x) = 0$$

$$-\psi'(-x) = \psi'(x) = 0, \quad 0 < x < l \rightarrow \psi = \text{const}$$

$$\text{Chọn } t(x) = 0; \quad -l < x < l \tag{16}$$

Sử dụng điều kiện biên (11.4) đặt  $z = \lambda t + l$

$$\varphi''(zl) + \frac{1}{ml} \psi'(z) = -\psi'(z-2l) + \frac{1}{ml} \psi'(z-2l) \tag{17}$$

→ Nghiệm của phương trình trên đối với  $\psi'(z)$ :

$$\psi'(z) = C_1 e^{\frac{z}{ml}} + e^{-\frac{z}{ml}} \int C^{\frac{z}{ml}} \left[ \psi''(z-2l) + \frac{1}{ml} \psi'(z-2l) \right] dz \tag{18}$$

Vế phải (18) bằng không với  $(l < z < 3l)$

$$\text{Từ } \frac{\partial u}{\partial t} \Big|_{t=0} = u(x,0) = \lambda [\varphi'(-l) + \varphi'(l)] = v_1$$

$$\Rightarrow \lambda C e^{\frac{l}{m}} = -v_1 \rightarrow C = -\frac{v_1}{\lambda} e^{-\frac{l}{m}}$$

$$\varphi'(z) = -\frac{v_1}{\lambda} e^{-\frac{z-l}{ml}} \quad (l < z < 3l)$$

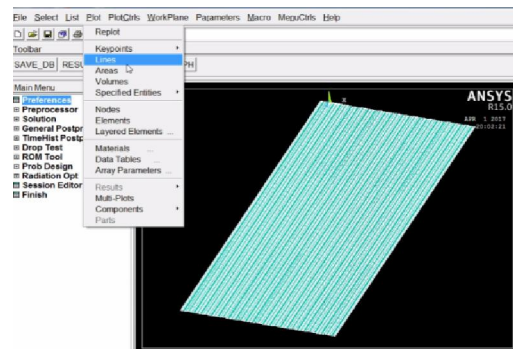
$$\varphi(z) = \frac{ml}{\lambda} v_1 e^{-\frac{z-l}{ml}} + C_1$$

$$C_1 = -\frac{ml}{\lambda} v_1$$

$C_1$  là nghiệm của phương trình vi phân (10).

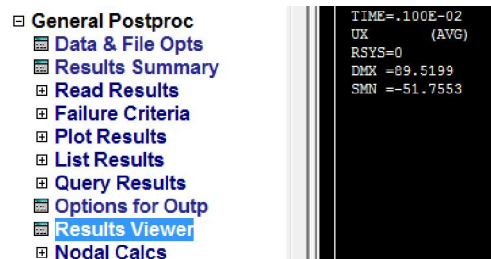
#### 4. PHÂN TÍCH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA QUÁ TRÌNH VA CHẠM

Trên thanh công cụ ta chọn Plot - lines nhằm in tất cả các biên dạng của tấm thành đường (hình 4). Bước này giúp ta dễ thao tác trong quá trình chọn và chia lưới theo đường.



Hình 4. Giao diện thiết lập bản vẽ trong Ansys

Chọn General Postproc - Results Viewer. Các thông số thí nghiệm được hiển thị trên màn hình, trong đó: SMN là giá trị ứng suất lớn nhất khi đặt lực kích động, DMX là giá trị chuyển vị tương ứng.



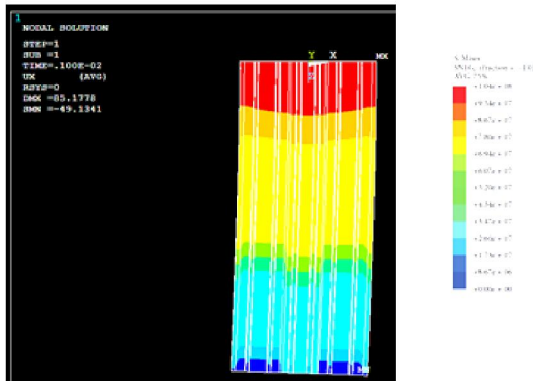
Hình 5. Giao diện khai thác kết quả phân tích

Trên hình 5 giá trị ứng suất lớn nhất  $SMN = 51.7553$  ( $kN/m^2$ ), giá trị chuyển vị  $DMX = 89,51 \times 10^{-3}$  (m). Kết quả thí nghiệm phân tích ứng suất tương ứng với giá trị lực kích động được ghi trong bảng 2

Bảng 2. Quan hệ lực và ứng suất lớn nhất

Giá trị xung lực $F_t$ (N)	1000	1200	1400	1600	1800
Giá trị ứng suất ( $kN/m^2$ )	45.190	54.228	63.266	72.304	81.342

Vật liệu thí nghiệm SPCC có thành phần hóa học và cơ lý tương tự thép CT3 (tiêu chuẩn Liên Xô cũ) hay còn được gọi là CT38 (TCVN1765 - 75) với độ bền  $\sigma_{ch} = 245$  MPa.



Hình 6. Miền phân bố ứng suất trên tấm

Kết quả phân tích trên hình 6 thể hiện miền giá trị ứng suất của tấm tương ứng với lực kích động, vùng biến dạng thay đổi từ miền có màu đỏ đến màu vàng. Vùng màu đỏ là nơi ứng suất tập trung lớn nhất có nguy cơ phá hủy cao nhất, vùng có màu xanh là vùng có ứng suất thấp nhất.

Giá trị ứng suất tập trung lớn nhất mà lực gây ra cho tấm là nhỏ hơn rất nhiều so với giới hạn bền chảy của vật liệu do đó tấm chỉ có thể bị phá hủy do mỏi hoặc cộng hưởng.

## 5. BÀN LUẬN KẾT QUẢ

Theo kinh nghiệm của các nhà sản xuất thiết bị lọc bụi tĩnh điện cần tác động vào tấm cực lắng một lực gõ để tạo ra giá trị gia tốc gấp khoảng ba mươi lần gia tốc trọng trường (30g) thì có thể tách được bụi. Đây là điều kiện quan trọng để xác định vận tốc giới hạn  $[v'_2]$  của thanh sau khi va chạm với búa gõ, từ kết quả tính toán (9.1), (9.2) và phân tích biến dạng trên Ansys cho thấy có thể thay đổi các điều kiện ban đầu như trọng lượng của búa gõ để thực hiện việc rung rũ được bụi bám khỏi bề mặt tấm cực lắng đồng thời đảm bảo tuổi bền làm việc của các thiết bị trong bộ gõ rũ bụi.

## 6. KẾT LUẬN

Hiệu suất lọc bụi tĩnh điện phụ thuộc vào hiệu quả của bộ gõ rũ bụi, búa gõ sẽ tạo ra xung lực để giải phóng bụi bám ra khỏi bề mặt tấm cực lắng, tạo điều kiện cho cực lắng thực hiện lắng bụi với hiệu quả cao. Tuy nhiên tác động một lực quá lớn từ búa gõ thì biến dạng và ứng suất sẽ tăng, còn nếu tăng tần suất gõ thì sẽ tăng số chu kỳ, chúng đều là nguyên nhân làm giảm tuổi thọ của thiết bị.

Bài báo này tập trung vào việc phân tích lực, xung lực và biến dạng của tấm cực lắng tương ứng với lực kích động, qua đó có thể thiết lập được điều kiện làm việc cũng như dự báo tuổi bền của tấm cực lắng trong bộ gõ rũ bụi.

Kết quả nghiên cứu của bài báo cũng là cơ sở để tiếp tục phân tích quá trình động lực học của bộ gõ rũ bụi để tìm ra các tần số dao động riêng, các dạng riêng, từ đó có thể xác định được giá trị của lực kích động phù hợp với mục đích rũ bụi tránh được sự phá hủy do cộng hưởng dao động.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Văn Khang, 2005, Dao động kỹ thuật, NXB Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
- [2]. Nguyễn Trọng Giảng, Nguyễn Việt Hùng, 2003, ANSYS và Mô phỏng số trong công nghiệp bằng phần tử hữu hạn, NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- [3]. Nguyễn Thanh Bình, 2009, Giáo trình tính toán kết cấu bằng phương pháp phần tử hữu hạn, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội.
- [4]. Nguyễn Phú Thái, Nguyễn Văn Vương, 2006, Tính toán công trình chịu tải trọng xung và va chạm, NXB Khoa học và Kỹ thuật;
- [5]. V.PKOPGAEP, 2006, Sổ tay tính toán độ bền tuổi thọ chi tiết máy và kết cấu, NXB Hải phòng.
- [6]. Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran 14778 93855, Iran. "Fatigue Durability Analysis of Collecting Rapping System in Electrostatic Precipitators under Impact Loading". Accepted 2 December 2013; Published 12 January 2014.