

Improving the efficiency of the coal-cutting process by combining cutting teeth on the drum of the coal-cutting machine used in underground coal mining



Linh Khac Nguyen *, Tien Van Pham

Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26th May 2023

Revised 04th Sept. 2023

Accepted 30th Sept. 2023

Keywords:

Coal mining,
Cutting teeth,
Destruction,
Specific energy,

ABSTRACT

Nowadays, coal mining is primarily carried out by underground method. The shearer is the main equipment used in underground coal mining in developed mining countries and it is gradually applied in underground coal mines in Viet Nam. With coal-cutting machines, using the cutting drum is applied mainly because of its simple structure, high productivity, and reliability. However, during the coal-cutting process, the fine coal content of about 40÷50% of the total mining output causes dust generation as well as energy consumption because the coal is cut too small. According to previous studies, this problem is solved by increasing the thickness of the slices, which is achieved by using larger drums with large cutting teeth, and in combination with increased speed movement of the stage machine. This increases machine size, large investment costs and reduces machine flexibility due to the tight space of mining areas. Through the research of previous authors, it is possible to increase the cross-sectional area of the slices by forming slices in pairs and groups, and at the same time enhance the failure by tensile stress instead of mostly compressive stress. In addition, the overlap of stresses around the slice, when using the coal-cutting teeth group, also reduces the cutting force on the cutting teeth. In this study, a new solution is proposed to increase the height of the cutting teeth and the width of the cutting step without increasing the local load acting on the cutting teeth by combining the cutting teeth in groups thereby reducing dust, increasing the particle size of the cutting teeth coal, reducing specific energy and increasing cutting capacity of the coal cutting machine.

Copyright © 2023 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: nguyengkhaclinh@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2023.64(5).02



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>

Nâng cao hiệu quả quá trình cắt than bằng sự kết hợp nhóm răng cắt trên tang máy khâu dùng trong khai thác than hầm lò

Nguyễn Khắc Lĩnh *, Phạm Văn Tiến

Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 26/5/2023

Sửa xong 04/9/2023

Chấp nhận đăng 30/9/2023

Từ khóa:

Khai thác than,
 Năng lượng riêng,
 Phá hủy,
 Răng cắt.

TÓM TẮT

Hiện nay, than được khai thác chủ yếu bằng phương pháp hầm lò. Trong đó, máy khâu than là thiết bị chủ lực được áp dụng trong các mỏ ở các nước có nền khai khoáng phát triển và dần được áp dụng phổ biến tại các mỏ than hầm lò ở Việt Nam. Với máy khâu than, phương pháp cắt than bằng cơ học sử dụng tang cắt được áp dụng chủ yếu nhờ có kết cấu đơn giản, năng suất và độ tin cậy cao. Tuy nhiên, trong quá trình khâu than, hàm lượng than mịn đạt 40÷50% trên tổng sản lượng khai thác, đây là tác nhân sinh bụi cũng như tiêu tốn năng lượng vì cắt nhỏ than quá mức. Theo các nghiên cứu trước đây, vấn đề tăng kích thước hạt của than sau quá trình cắt được giải quyết bằng cách tăng độ dày của các lát cắt, điều này đạt được bằng cách sử dụng các tang khâu lớn hơn với các răng cắt lớn làm tăng chiều cao cắt kết hợp với tăng tốc độ di chuyển của máy khâu. Đồng thời, việc tăng đường kính tang khâu khiến kích thước máy tăng lên làm chi phí đầu tư lớn và giảm tính linh hoạt của máy do không gian chật hẹp của lò chợ. Qua thời gian nghiên cứu các tác giả đã nhận thấy, có thể tăng tiết diện của các lát cắt bằng cách hình thành các lát cắt theo cặp và nhóm, đồng thời tăng cường sự phá vỡ của than khối khối nguyên bằng ứng suất kéo thay vì đa phần là ứng suất nén như hiện nay. Ngoài ra, sự chồng lấn các ứng suất xung quanh lát cắt khi sử dụng nhóm răng cắt của khối than cũng làm giảm lực cắt trên răng cắt. Nghiên cứu này đã đưa ra giải pháp mới nhằm mục đích tăng chiều cao răng cắt và chiều rộng bước cắt mà không tăng tải trọng cục bộ trên răng cắt bằng cách kết hợp các răng cắt theo nhóm từ đó giúp giảm bụi, tăng cỡ hạt của than, giảm năng lượng riêng và tăng năng suất cắt của máy khâu than.

© 2023 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

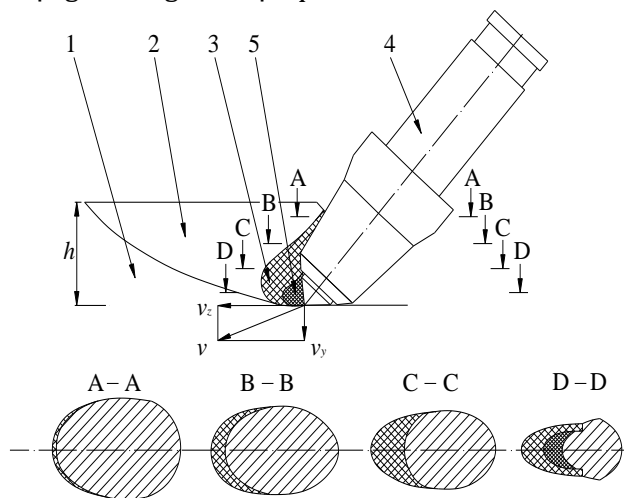
*Tác giả liên hệ

E - mail: nguyenkhaclinh@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2023.64(5).02

1. Mở đầu

Hiện nay ở các nước trên thế giới và Việt Nam, than vẫn là nguồn nhiên liệu quan trọng cung cấp năng lượng cho các ngành công nghiệp. Do đó, duy trì sản lượng than ổn định theo kế hoạch sẽ đảm bảo an ninh năng lượng của mỗi quốc gia. Ngày nay, hiệu quả của công tác khai thác lộ thiên không đảm bảo nên các mỏ than lộ thiên đã và đang chuẩn bị phải chuyển sang khai thác hầm lò. Việc áp dụng cơ giới hóa đồng bộ trong khai thác than hầm lò bao gồm giàn chống tự hành, máng cào và máy khai thác là bước đi đúng đắn của Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV) theo chủ trương phát triển ngành than bền vững gắn với bảo vệ môi trường (Vinacomin, 2016). Trong tổ hợp cơ giới hóa, máy khâu nằm trong nhóm máy khai thác được sử dụng rộng rãi ở các mỏ than hầm lò trên thế giới nhờ có các ưu điểm nhỏ gọn, làm việc tin cậy và năng suất cao. Tuy nhiên, trong quá trình làm việc máy khâu cũng bộc lộ một số nhược điểm như: chi phí năng lượng riêng cao, sinh bụi nhiều. Một trong những nguyên nhân đó là sản phẩm của quá trình khâu tạo nên 40÷50% hạt có kích thước từ 0÷6 mm (Gabov và nnk., 2019; Peng, 2006) dẫn đến tăng lượng bụi phát tán vào không khí và làm tiêu tốn năng lượng do cắt nhỏ than quá mức, v.v... Từ những nguyên nhân ở trên việc tìm kiếm giải pháp nâng cao hiệu quả của quá trình bóc tách than trong vỉa than khối nguyên khối là cần thiết, từ đó tiết kiệm năng lượng và nâng cao hiệu quả kinh tế.



Hình 1. Sơ đồ cắt của răng trong gương than (Chupin, 2016); (1 - khối than; 2 - vùng biến dạng đàn hồi; 3 - vùng ép vỡ đàn hồi; 4 - răng cắt; 5 - vùng ép vụn cục bộ).

2. Cơ sở lý thuyết

Trong quá trình làm việc của máy khâu, răng cắt cắt than ra từng lớp từ khối nguyên. Lực tác dụng lên răng cắt trong quá trình này có tính chu kỳ và có tính bước nhảy theo tính chất giòn của vật liệu bị phá vỡ. Quá trình phá vỡ gồm 2 giai đoạn chính: dồn ép và phá vỡ (Hình 1).

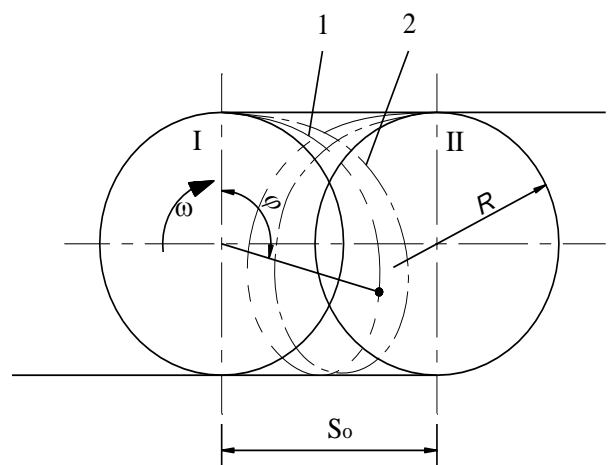
Quá trình cắt bắt đầu khi răng cắt 4 di chuyển theo quỹ đạo của nó, đất đá bị dồn ép ở phía trước đầu răng cắt (vùng 5) và lan rộng ra các vùng xung quanh (vùng biến dạng đàn hồi 2) thông qua vùng ép vỡ đàn hồi 3. Các vết nứt được hình thành, phá vỡ kết cấu tự nhiên của lớp than (đất đá) với khối than 1, sau đó lớp than được bóc tách hoàn toàn ra khỏi khối nguyên.

Chiều sâu cắt (chiều dày lát cắt) được hình thành bởi răng cắt trước và răng cắt liền sau trên cùng một đường cắt. Biến dạng của lát cắt có thể được mô hình hóa bằng hệ phương trình (1) và (2). Với góc tọa độ được chọn tại tâm của tang khâu, răng cắt thứ nhất bắt đầu từ vị trí C, răng cắt thứ hai nằm phía trái điểm C và cùng nằm trên một đường cắt.

Hệ phương trình định vị đầu răng cắt thứ nhất theo thời gian (Phạm và nnk., 2018):

$$\begin{cases} x_1 = R \cdot \sin(\omega \cdot u_i) + \frac{V_{dc} \cdot u_i}{60} \\ y_1 = R \cdot \cos(\omega \cdot u_i) \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó: x, y - tọa độ của răng cắt tại thời điểm $u(s)$; R - bán kính của đầu khâu (tính từ mép



Hình 2. Tiết diện của lớp cắt được hình thành trong quá trình làm việc của tang khâu; (S_0 - khoảng cách di chuyển của đầu khâu sau một vòng quay, mm).

ngoài của răng đến tâm của đầu khâu), mm; ω - vận tốc góc của đầu khâu, rad/s; V_{dc} - vận tốc tiến của đầu khâu, m/phút; φ - góc phân chia của hai răng cắt liền kề trên một đường cắt, độ; u_i - thời gian tại thời điểm xét.

Hệ phương trình định vị đầu răng cắt thứ hai (Hình 2) theo thời gian:

$$\begin{cases} x_2 = R \cdot \sin(\omega \cdot u_i - \varphi) + \frac{V_{dc} \cdot u_i}{60} \\ y_2 = R \cdot \cos(\omega \cdot u_i - \varphi) \end{cases} \quad (2)$$

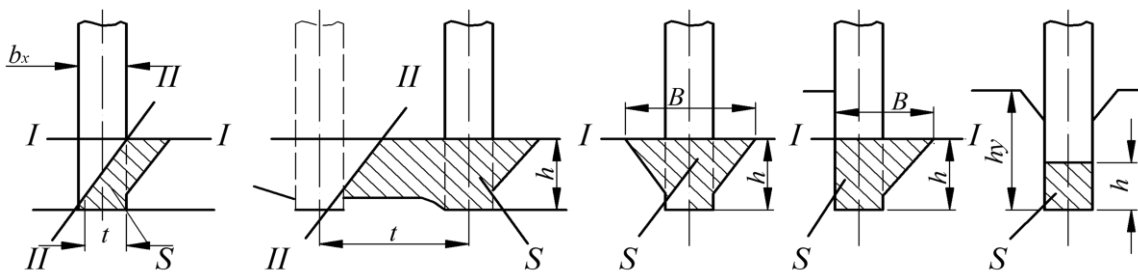
Trong đó: x_2, y_2 - tọa độ của răng cắt tại thời điểm $u(s)$; φ - góc phân chia của hai răng cắt liền kề trên một đường cắt, độ; u_i - thời gian tại thời điểm xét.

Từ hệ phương trình (1) và (2) xây dựng được mặt phá hủy của đất đá trong quá trình làm việc của tang khâu, chúng được giới hạn bởi đường cong 1 và 2 (Hình 2). Từ đó, thấy rằng hai răng cắt

liên tiếp trên một đường cắt sẽ tạo ra lớp cắt có chiều dày nhỏ không đồng đều và thu hẹp ở hai đầu (dạng hình lưới liềm). Vấn đề này không thể tránh khỏi khi sử dụng tang khâu. Điều này dẫn đến khối lượng khai thác được luôn chứa hơn 40% hạt mịn và bụi, làm tăng đáng kể tổn thất than, chi phí năng lượng và chi phí nhân công cho việc đập bụi, đồng thời làm giảm sự an toàn của hoạt động khai thác mỏ.

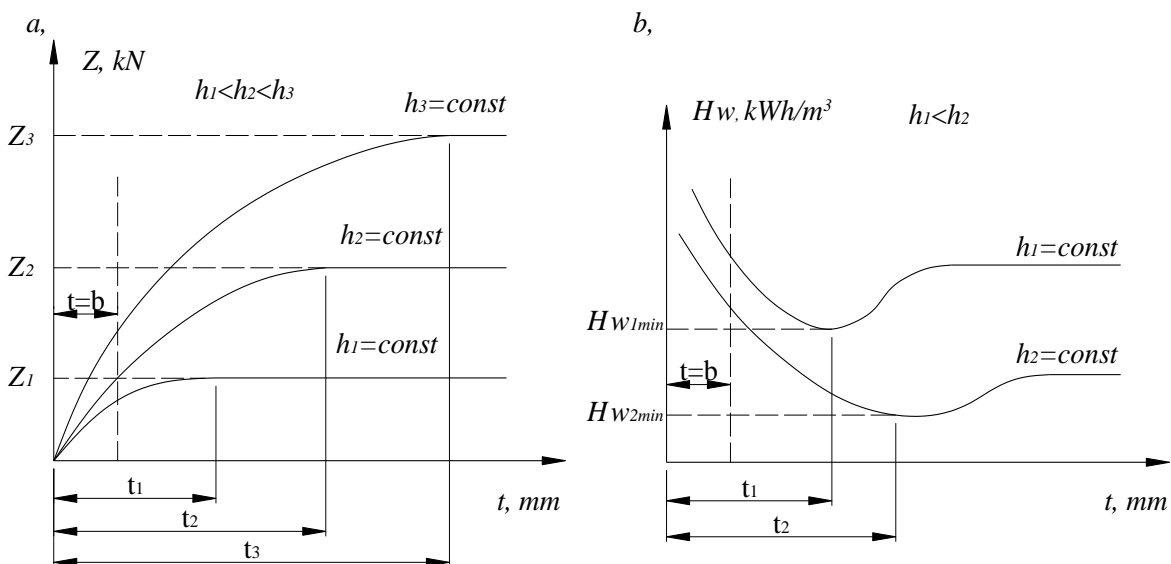
Thực nghiệm đã chứng tỏ rằng lực tác dụng lên răng cắt trong quá trình cắt không chỉ phụ thuộc vào tính chất cơ học của khoáng sản mà còn phụ thuộc vào vị trí tương hỗ của mặt thoáng với răng cắt. Từ đó, người ta chia các kiểu cắt ra làm 5 loại:

- Cắt tự do (Hình 3a): Phoi cắt có hai mặt thoáng nhưng khoảng cách giữa hai đường cắt liền tiếp nhỏ hơn chiều rộng răng ($t = b_x$), do đó lực cắt là nhỏ nhất.



Hình 3. Các dạng cắt than của răng cắt.

I-I và II-II: mặt thoáng do răng cắt trước để lại; S - diện tích của lát cắt; h - chiều sâu cắt; t - bước cắt 1 - tang khâu; 2 - vấu lắp răng cắt; 3 - răng cắt phía sau; 4 - hai răng cắt phía trước; 5 - cánh xoắn.



Hình 4. Ảnh hưởng của chiều sâu (h) và bước cắt (t) đến lực cắt và năng lượng riêng. h_1, h_2, h_3 - chiều sâu cắt; t_1, t_2, t_3 - bước cắt; H_w - năng lượng riêng; Z - Lực cản cắt

- Cắt bán tự do (Hình 3b): Sự cắt than, đất đá được thực hiện khi đã có bề mặt thoáng thứ hai xuất hiện. Điều này xảy ra khi bước cắt $t = b_x$, khi $t = b_x + (5 \div 6)h$ thì cắt bán tự do chuyển thành cắt trên bề mặt hở.

- Cắt trên bề mặt hở (Hình 3c): răng cắt trên bề mặt của gương lò với bước cắt $t = b_x + (5 \div 6)h$. Lúc này phoi cắt trượt sang cả hai phía.

- Cắt bán bao bọc (Hình 3d): một thành bên của răng cắt tham gia vào quá trình cắt còn phía bên kia không cắt, do đó các cục than tách ra để lại trên khối than một vết có góc nghiêng một bên.

- Cắt bao bọc (Hình 3e): cắt đi một lớp khoáng sản (phoi cắt) có chiều dày h trong một rãnh sâu, do đó chiều rộng phoi cắt bằng chiều rộng răng cắt. Với trường hợp này cả hai lưỡi cắt phụ (thành bên của răng cắt) đều tham gia vào quá trình cắt nên lực cần cắt sẽ tăng lên.

Trong năm trường hợp trên, trường hợp thứ hai được sử dụng phổ biến nhất khi khâu than, đất đá. Trường hợp thứ nhất tuy có lực cắt nhỏ nhất nhưng chi phí năng lượng riêng lớn, kèm theo kích thước phoi cắt nhỏ dẫn đến sinh bụi lớn.

Khi thay đổi bước cắt từ $t = b_x$ đến $t = b_x + (5 \div 6)h$ trong khi chiều sâu cắt h cố định thì lực cắt tăng lên và đạt đến giá trị hằng số như Hình 4. Khi đó bước cắt tối ưu được xác định khi năng lượng riêng đạt giá trị nhỏ nhất tại $t_{tu} = b_x + (1 \div 1,4) \cdot h$ như Hình 4b

Ảnh hưởng của chiều sâu và bước cắt đến lực cắt trên răng cắt và năng lượng riêng được thể hiện trong Hình 4 (Solod và nnk., 1982).

Từ các Hình 4a, b thấy rằng: chiều sâu cắt thay đổi (tăng dần từ h_1 đến h_3) thì năng lượng riêng giảm, lực cắt trên răng tăng lên. Với trường hợp h_1 mặc dù lực cắt trên răng nhỏ nhưng đất đá bị cắt

nhỏ do đó năng lượng riêng lớn - nghĩa là cần nhiều năng lượng hơn để khai thác một lượng than nhất định. Nhưng nếu chiều sâu cắt quá lớn làm tải trọng trên răng cắt tăng nhanh chóng có thể gây gãy răng và hỏng vấu lắp răng cắt.

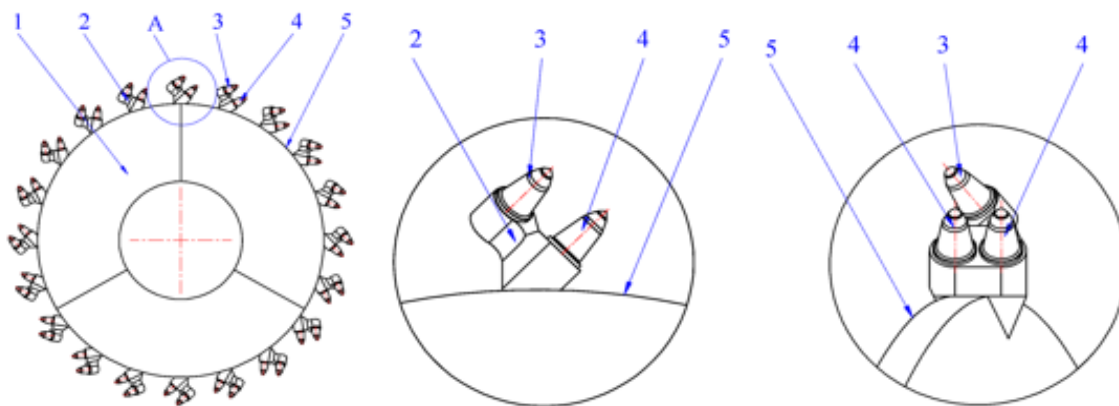
Vì vậy, cần có các giải pháp mới như tăng chiều cao răng cắt và chiều rộng bước cắt mà không gây tải trọng cục bộ trên răng cắt.

3. Đề xuất phương án xây dựng sơ đồ bố trí răng cắt trên tang khâu

Giải pháp kỹ thuật được đề xuất là tang máy khâu có các răng cắt được bố trí theo cụm gồm ba răng cắt, trong đó hai răng cắt được bố trí trong một mặt phẳng song song hoặc tạo với nhau một góc nhất định, răng cắt còn lại được bố trí phía sau và cao hơn hai răng cắt phía trước. Răng cắt phía sau có thể lắp thẳng hoặc nghiêng một góc không quá 13° (Hekimoglu và Ozdemir, 2004; Sun và Li, 2013; Yong và Li, 2018).

Tang máy khâu 1 (Hình 5) gồm: các cánh xoắn 5 để thực hiện vận tải đất đá sau khi cắt lên máng cào, đồng thời trên đỉnh cánh xoắn được hàn vấu lắp răng cắt 2 để lắp răng cắt. Mỗi vấu lắp răng cắt được bố trí ba răng cắt: hai răng cắt trước 4 và một răng cắt sau 3. Răng cắt phía trước được lắp song song với nhau hoặc tạo với nhau một góc nhỏ hơn 10° nhằm mục đích mở rộng lát cắt nếu cần, còn răng cắt phía sau 3 được bố trí cao hơn hai răng cắt phía trước 4 và lùi về phía sau.

Khi máy làm việc, tang khâu 1 được dẫn động quay tại chỗ, sau đó máy được điều khiển di chuyển về phía trước, lúc này răng cắt 3 và 4 được truyền lực thông qua cánh xoắn 5 và vấu lắp răng cắt 2, các răng cắt tác động vào khối than 8 thực



Hình 5. Sơ đồ bố trí cụm răng cắt trên tang máy khâu.

1 - tang khâu; 2 - vấu lắp răng cắt; 3 - răng cắt phía sau; 4 - hai răng cắt phía trước; 5 - cánh xoắn.

hiện quá trình tách than khỏi khối nguyên của vỉa. Đỉnh của răng cắt 3 và 4 tạo thành các đường hypocycloid, theo chu kỳ cắt vào khối than tạo ra vết cắt có hình lưới liềm. Tuy nhiên ở hai đầu lưới liềm và thân của nó độ chênh lệch về chiều dày đã giảm đi đáng kể. Các răng cắt số 4 sẽ cắt lớp cắt 6 và răng cắt số 3 sẽ cắt lớp cắt 7 (Hình 6).

4. Thảo luận

Việc tạo ra các đường cắt như vậy làm giảm sự thu hẹp ở hai đầu hình liềm của lát cắt, từ đó giảm lượng than bị cắt nhỏ, đồng thời theo nghiên cứu của tác giả (Gabov và nnk., 2022) khi bố trí răng cắt thành từng cặp sẽ làm hiệu quả cắt tăng lên do sự giao thoa của ứng suất trong quá trình cắt. Ngoài ra, răng cắt phía sau có thể cắt được lát cắt có diện tích lớn hơn mà không làm tăng lực cắt do khoảng trống bên cạnh của cụm răng cắt phía trước để lại (Hình 6) làm ứng suất phá hủy chủ yếu là ứng suất kéo do có sự tham gia của lực đẩy ngang, nghĩa là diện tích cắt lớn hơn nhưng lực trên răng cắt có thể giảm xuống. Từ đó, giúp giảm bụi, tăng cỡ hạt, giảm năng lượng riêng và tăng năng suất cắt mà tang khâu vẫn đảm bảo theo điều kiện bền.

5. Kết luận

Từ những nghiên cứu ở trên ta có thể kết luận

như sau:

- Lớp cắt do răng cắt lắp trên tang máy khâu tạo ra có dạng hình lưới liềm, chiều dày lớp cắt nhỏ không đồng đều và thu hẹp ở hai đầu, đây là nguyên nhân chủ yếu dẫn đến sự hình thành hạt nhỏ sau quá trình cắt;

- Để giảm hình thành các hạt nhỏ mịn là nguồn phát sinh bụi và giảm tiêu thụ năng lượng trong quá trình cắt than, thì cần giảm tối đa sự hình thành các lớp cắt mỏng;

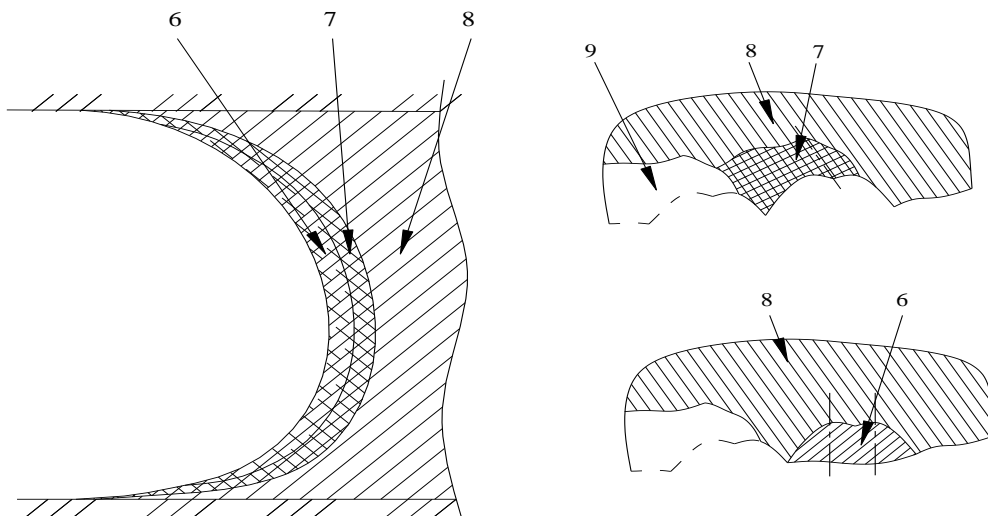
- Để giảm lớp cắt mỏng tăng độ cục của than sau cắt có thể bố trí răng cắt theo từng cụm gồm ba răng cắt: hai răng cắt phía được bố trí trong một mặt phẳng, song song hoặc tạo với nhau một góc không quá 10° , răng cắt còn lại được bố trí phía sau và cao hơn hai răng cắt phía trước, răng cắt này có thể lắp thẳng hoặc nghiêng một góc không quá 13° .

Lời cảm ơn

Xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Mỏ - Địa chất đã tài trợ cho nghiên cứu này thông qua đề tài T23-08.

Đóng góp của tác giả

Nguyễn Khắc Lĩnh - xây dựng ý tưởng, giải pháp, giải quyết vấn đề, thảo luận về kết quả, viết bản thảo; Phạm Văn Tiến - xây dựng ý tưởng, giải pháp, thảo luận về kết quả.



Hình 6. Sự hình thành lát cắt của cụm răng cắt.

6- lớp cắt của hai răng cắt phía trước, 7 - lớp cắt của răng cắt sau, 8 khối than, 9 - khoảng trống do cụm răng cắt trước để lại.

Tài liệu tham khảo

- Chupin, S. A. (2016). Increasing the wear resistance of rotary cutters of tunneling combines for the development of rocks of medium strength. Thesis, ... candidate of technical sciences. SPb: Gorny, 162 p.
- Gabov, V. V., Xuan, N. V., Zadkov, D. A., & Tho, T. D. (2022). Increasing the content of coarse fractions in the mined coal mass by a combine using paired cuts. *Journal of Mining Institute*, 257, 764-770.
- Gabov, V. V., Zadkov, D. A., Linh, N. K. (2019). Features of elementary burst formation during cutting coals and isotropic materials with reference cutting tool of mining machines. *Journal of Mining Institute* 236, 153-161.
- Hekimoglu, O. Z., & Ozdemir, L. (2004). Effect of angle of wrap on cutting performance of drum shearers and continuous miners. *Mining Technology*, 113(2), 118-122.
- Phạm, V. T., Nguyễn, K. L., Đoàn, V. G., Lê, T. H. T. (2018). Nâng cao hiệu quả khai thác than hầm lò bằng việc lựa chọn phương pháp cắt than tối ưu từ gương khai thác. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, Tập 59(1), 22-25.
- Peng, S. S. (2006). *Longwall Mining*. U.S.: 2nd edition, 621 p.
- Sun, Y., & Li, X. S. (2013). Determination of attack angle and tilt angle of a cutting pick. *Advanced Materials Research*, 705, 415-418.
- Solod, V. I., Getopanov, V. N., Rachek, V. M. (1982). *Design and construction of mining machines and complexes*. -M.: Nedra, 350 p.
- Vinacomin (2016). Báo cáo và tham luận tổng kết công tác cơ giới hóa khai thác đào lò 2013÷2015 và định hướng đến 2020. Quảng Ninh, 299 p.
- Yong, S., Li X. (2018). Slant Angle and Its Influence on Rock Cutting Performance. *Advances in Civil Engineering*. Article ID 6519029. 11p.