

# MÔ PHỎNG SỐ QUÁ TRÌNH DẬP VUỐT BIẾN MỎNG THÀNH TRONG CHẾ TẠO VỎ LIỀU ĐẠN 40 MM NATO

## NUMERICAL SIMULATION OF THE IRONING PROCESS IN THE MANUFACTURING CARTRIDGE CASE OF 40 MM NATO

Phùng Văn Thứ<sup>1</sup>, Nguyễn Mạnh Tiến<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Viện Công nghệ, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup>Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, Việt Nam

\*Tác giả liên hệ / Corresponding author: manhtiennguyen84@lqdtu.edu.vn

(Nhận bài / Received: 22/8/2023; Sửa bài / Revised: 24/10/2023; Chấp nhận đăng / Accepted: 14/11/2023)

**Tóm tắt** - Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu quá trình dập vuốt biến mỏng thành vỏ liều đạn 40 mm NATO từ hợp kim đồng LK75. Mô đun Multiple-Operation của phần mềm thương mại Deform 2D được sử dụng cho bài toán mô phỏng nhiều bước trong quy trình công nghệ tạo hình. Mô hình vật liệu dẻo biến cứng được xây dựng bằng thí nghiệm thử kéo. Kết quả mô phỏng cho thấy, sự phân bố ứng suất và biến dạng không đồng đều trong sản phẩm sau dập vuốt biến mỏng thành. Đồng thời cho thấy sự tăng cường về ứng suất và biến dạng sau các bước dập vuốt biến mỏng thành. Ứng suất cao nhất là 650 MPa và 850 MPa tương ứng với bước dập vuốt biến mỏng thành số 4 và số 5. Biến dạng tương đương ở vị trí cách miệng bán sản phẩm 50 mm của bước 4 và bước 5 tương ứng là 0,528 (mm/mm) và 1,36 (mm/mm). Chính đặc điểm này của quá trình biến dạng nguội sẽ quyết định đến đặc điểm cơ tính của vỏ liều nhằm đáp ứng điều kiện hoạt động của chi tiết.

**Từ khóa** - Vỏ liều đạn; Dập vuốt biến mỏng thành; Ứng suất - biến dạng; Mô phỏng số; Phần mềm Deform 2D

### 1. Đặt vấn đề

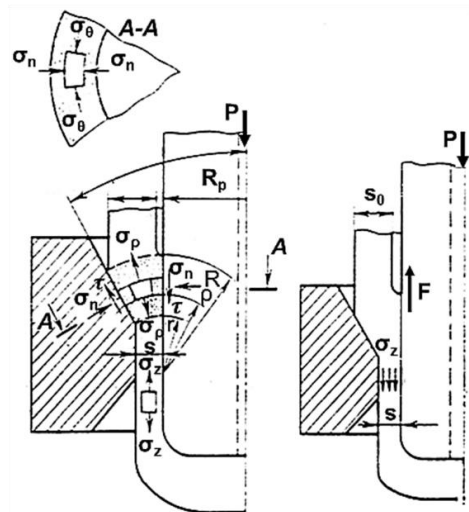
Dập vuốt biến mỏng thành là một trong các phương pháp tạo hình sản phẩm bằng công nghệ gia công áp lực. Dập vuốt biến mỏng thành được thực hiện khi khe hở giữa chày và cối nhỏ hơn chiều dày của vật liệu phôi [1, 2]. Điều đặc biệt ở nguyên công này là ứng suất pháp rất lớn tác dụng trên bề mặt tiếp xúc và trong quá trình biến dạng. Sự khác nhau về hướng tác dụng của lực ma sát là do hướng trượt tương đối của phôi với chày và cối khác nhau (Hình 1) [3, 4].

Phôi bị kéo qua lòng cối, nên ở mặt ngoài ma sát ngược chiều với chiều dập vuốt, trong khi ở mặt trong phôi bị biến mỏng nên kéo dài ra trượt trên mặt chày làm ma sát trùng với chiều dập vuốt. Trên bề mặt tiếp xúc, ngoài ứng suất tiếp do ma sát gây ra còn có ứng suất nén  $\sigma_\theta$ . Chày tác dụng theo hướng trục nên gây ra ứng suất kéo  $\sigma_p$ . Trong quá trình biến dạng, đường kính trong của phôi thay đổi không đáng kể và đại lượng biến dạng của bề mặt ngoài có giá trị nhỏ (thường nhỏ hơn 0,5) nên có thể coi dập vuốt có biến mỏng xảy ra trong điều kiện trạng thái biến dạng phẳng đối xứng trục. Trong quá trình dập vuốt phôi sẽ trượt tương đối đối với chày (theo hướng lên trên), do đó sẽ phát sinh lực ma sát tiếp xúc theo hướng chuyển động của chày. Đồng thời phôi cũng trượt tương đối đối với cối theo hướng chuyển động của chày, khi đó sẽ xuất hiện lực ma sát tiếp xúc tác

**Abstract** - This paper reports the research results of the ironing process in the manufacturing cartridge case of 40 mm NATO from the LK75 copper alloy. The Multiple-Operation module of Deform 2D commercial software is used for multi-step simulation in the forming process. The model of hardening plastic material is built by tensile tests. The simulation results show that the distribution of stress and strain is not uniform in the product after ironing. At the same time, the enhancement in stress and strain after the ironing steps is also shown. The highest effective stresses are 650 MPa and 850 MPa corresponding to ironing steps 4 and 5. The effective strain at the position 50 mm from the product opening of steps 4 and 5 is 0.528 (mm/mm) and 1.36 (mm/mm), respectively. This feature of the cold deformation process will determine the mechanical properties of the cartridge case to meet the operating conditions.

**Key words** - Cartridge case; Ironing, Stress-Strain; Numerical simulation; Deform 2D software

dụng theo hướng ngược với hướng chuyển động của chày. Lực ma sát trên bề mặt tiếp xúc giữa phôi và chày sẽ giảm tải cho tiết diện nguy hiểm, giảm ứng suất kéo  $\sigma_p$ . Lực ma sát trên bề mặt tiếp xúc của phôi với cối có khả năng làm tăng ứng suất kéo  $\sigma_p$ .



**Hình 1.** Sơ đồ quá trình dập vuốt biến mỏng thành [3]

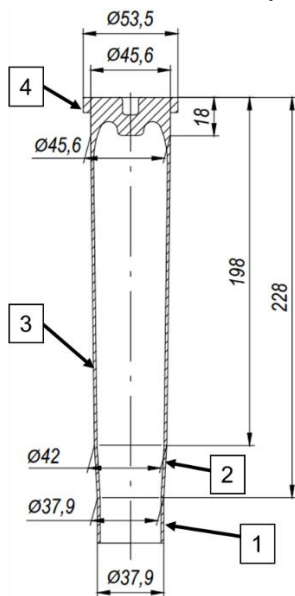
Để xác định được trường ứng suất trong quá trình biến dạng có thể sử dụng phương pháp lưới đường trượt [5],

<sup>1</sup> Institute of Technology, General Department of Defense Industry, Hanoi, Vietnam (Van Thu Phung)

<sup>2</sup> Military Technical Academy, Hanoi, Vietnam (Manh Tien Nguyen)

phương pháp giải kết hợp phương trình vi phân cân bằng và điều kiện dẻo [6], phương pháp cân bằng công [7]. Trong các phương pháp này, nếu sử dụng phương pháp cân bằng công sẽ đơn giản và chính xác hơn cả, vì nó đã đề cập đến đặc tính tác dụng của lực ma sát mà các phương pháp khác không đề cập đến. Tuy nhiên, hiện nay việc xác định phân bố ứng suất, biến dạng trong quá trình biến dạng dẻo thường được xác định nhanh chóng và thuận tiện bằng mô phỏng số. Mô phỏng số giúp xác định được sự phân bố trường ứng suất, trường biến dạng và lực dập vuốt biến mỏng thành trong quá trình biến dạng và chiều hướng thay đổi của các chúng qua các bước dập liên tiếp. Từ đó giúp cho sự đánh giá khả năng biến dạng của phôi và sự hình thành chất lượng sản phẩm.

Mặt khác, chi tiết vỏ liều đạn 40 mm NATO có hình dạng và kích thước sơ bộ được trình bày trên Hình 2.



Hình 2. Hình dạng vỏ liều đạn 40mm NATO

1) Miệng; 2) Vai; 3) Thân; 4) Đáy

Điểm đặc biệt trong kết cấu của vỏ liều là chiều dày đáy lớn hơn nhiều chiều dày phần thân, vai và miệng [8]. Sự giảm chiều dày theo hướng từ đáy vỏ liều đến miệng vỏ liều. Thân vỏ liều thường có độ côn với độ côn khoảng  $0^{\circ}20'$  đến  $1^{\circ}30'$ . Khối lượng vỏ liều đạn 40 mm NATO là 1,060 Kg. Yêu cầu về độ bền của chi tiết vỏ liều được xác định tại các vị trí dọc theo đường sinh của vỏ liều. Giới hạn bền kéo của các mẫu được cắt từ các vị trí cách miệng vỏ liều 65mm, 140mm, 220mm và 305mm lần lượt là (340÷400) MPa, (350÷420) MPa, (370÷470) MPa và (540÷660) MPa. Như vậy, độ bền tại các vị trí khác nhau của vỏ liều có giá trị khác nhau. Mặc dù việc đảm bảo các đặc trưng cơ tính của vỏ liều thay đổi theo chiều cao của vỏ liều có thể được điều chỉnh theo mức độ biến mỏng (được điều chỉnh theo kích thước và khe hở giữa chày và cối dập vuốt biến mỏng). Nhưng cần lưu ý rằng, giữa các nguyên công biến dạng dẻo cần thiết một số nguyên công ủ khử biến cứng. Như vậy, các giá trị độ bền này của vỏ liều thực chất được đảm bảo bằng sự phối hợp giữa các nguyên công biến dạng và các nguyên công xử lý nhiệt. Các nguyên công biến dạng chính trong quy trình công nghệ tạo hình vỏ liều là các nguyên công dập vuốt biến

mỏng thành. Thông thường các nguyên công dập vuốt biến mỏng thành cuối cùng sẽ được thực hiện mà không cần phải có các nguyên công ủ khử biến cứng. Các nguyên công biến dạng cuối cùng sẽ quyết định đến đặc điểm cơ tính và đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của vỏ liều [9, 10]. Vì vậy, nghiên cứu quá trình biến dạng của các nguyên công này là vô cùng cần thiết.

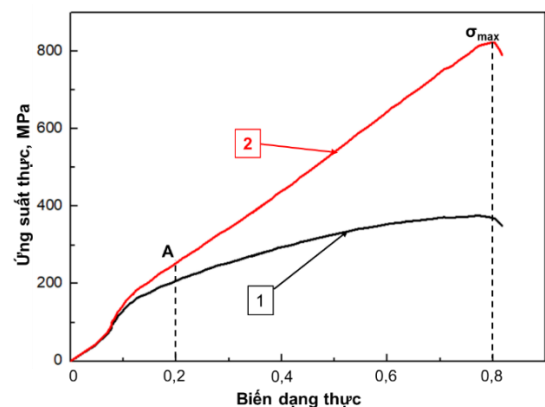
Nguyên công dập vuốt biến mỏng thành bước 4 và bước 5 được nghiên cứu khi tạo hình chi tiết vỏ liều đạn 40 mm NATO từ hợp kim đồng LK75. Bài toán mô phỏng cho hai bước nguyên công này được thực hiện bằng phần mềm Deform 2D. Các thí nghiệm thử kéo được tiến hành để xây dựng mô hình vật liệu phục vụ cho quá trình mô phỏng số. Các kết quả mô phỏng cho thấy sự phân bố ứng suất và biến dạng không đồng đều trong sản phẩm sau dập vuốt biến mỏng thành. Đồng thời cho thấy sự tăng cường về ứng suất và biến dạng sau các bước dập vuốt biến mỏng thành. Những kết quả về trường ứng suất, biến dạng của phôi khi biến dạng và lực biến dạng cho thấy tính khả thi của quy trình công nghệ được tính toán, thiết kế.

## 2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Vật liệu chế tạo vỏ liều đạn 40 mm NATO là tám hợp kim đồng LK75 dày 20 mm. Cắt mẫu trên tám phôi và chế tạo 02 mẫu kiểm tra thành phần hoá học, 02 mẫu kéo kiểm tra cơ tính. Phân tích thành phần hoá học của vật liệu bằng máy phân tích quang phổ phát xạ LAB LAVM11, kiểm tra độ cứng theo phương pháp Brinell, thử kéo mẫu được thực hiện trên máy thử kéo TT-HW2-1000. Các thử nghiệm được thực hiện tại Trung tâm đo lường, Viện Công nghệ, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng, Bộ Quốc phòng. Thành phần hoá học (% theo khối lượng) của hợp kim nghiên cứu được thể hiện trong Bảng 1. Cơ tính của vật liệu đầu vào phải đảm bảo giới hạn bền đạt từ 310÷350 MPa, độ giãn dài tương đối của mẫu thử kéo trong trạng thái nguội đạt lớn hơn 50%, độ cứng đạt từ 55÷75 HB.

Bảng 1. Thành phần hoá học của đồng LK75

Cu	Si	Zn	Fe	Pb	Sn	Sb	Bi	As
74 ÷77	0,45 ÷0,75	Còn lại	0,05	0,03	0,01	0,002	0,002	0,002



Hình 3. Mối quan hệ giữa ứng suất-biến dạng của mẫu kéo

Biểu đồ mối quan hệ giữa ứng suất-biến dạng của mẫu khi kéo được trình bày trên Hình 3. Trong đó, mối quan hệ giữa ứng suất-biến dạng kỹ thuật khi kéo mẫu là đường cong số 1, thu được sau quá trình thử kéo. Căn cứ vào [11,

12] xác định được biểu đồ mối quan hệ giữa ứng suất-biến dạng thực (đường cong số 2). Mô hình ứng xử của hợp kim đồng LK75 được xây dựng theo mô hình dẻo biến cứng P.Ludviga [13] trình bày theo công thức (1). Trong đó,  $\sigma$  là ứng suất chảy của vật liệu (MPa),  $\epsilon_i$  là mức độ biến dạng,  $K$  là mức hóa bền biến dạng (MPa),  $n$  là hệ số biến cứng.

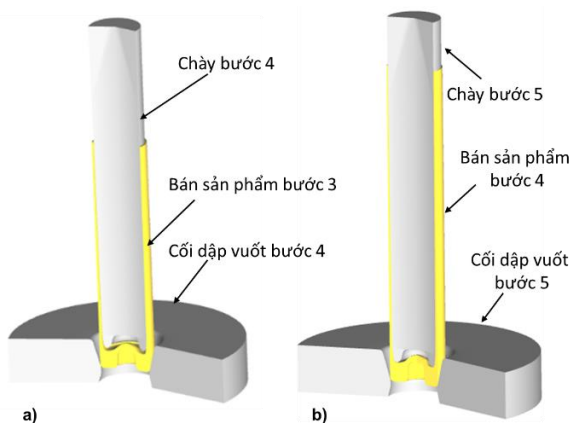
$$\sigma_i = K \epsilon_i^n \quad (1)$$

$$n = \frac{\log \sigma_{\max} - \log \sigma_A}{\log \epsilon_{\max} - \log \epsilon_A} \quad (2)$$

$$K = \frac{\sigma_A}{\epsilon_A^n} \quad (3)$$

Từ biểu đồ ứng suất-biến dạng thực (Hình 3), xác định được mức độ hoá bền biến dạng  $K$  (theo công thức số 3) và hệ số biến cứng  $n$  (theo công thức số 2) tương ứng là 982 MPa và 0,833. Việc xác định được mô hình ứng xử của vật liệu phôi ban đầu khi biến dạng dẻo là điều kiện quan trọng cho quá trình thiết lập các bài toán mô phỏng số quá trình biến dạng.

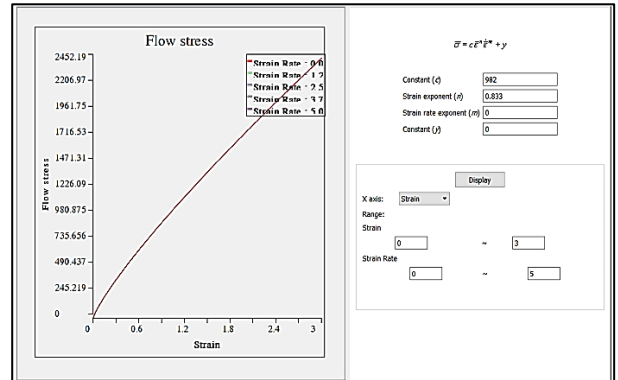
Phần mềm thương mại Deform 2D và mô đun Multiple-Operation được sử dụng để mô phỏng số các bước dập vuốt biến mỏng thành trong quy trình công nghệ tạo hình chi tiết vỏ liều đạn 40 mm NATO. Mô hình hình học của bài toán mô phỏng bước dập vuốt biến mỏng thành số 4 và bước số 5 được thể hiện trên Hình 4. Phôi là phần tử biến dạng, chày và cối được coi là cứng tuyệt đối để tập trung vào nghiên cứu quá trình biến dạng của phôi. Do sau bước dập vuốt biến mỏng thành số 3, phôi bán trung gian đã được ủ, nên phôi đầu vào của bước số 4 được xây dựng trong phần mềm CAD (vì cơ tính của bán sản phẩm sau bước 3 gần như khôi phục như ban đầu sau quá trình ủ). Phôi đầu vào cho bước số 5 được lấy trực tiếp từ bán trung gian sau bước số 4, do sau bước số 4 không tiến hành ủ. Khi đó, kích thước hình học và thuộc tính vật liệu sẽ được giữ nguyên từ bước số 4 chuyển sang dập vuốt biến mỏng thành bước 5.



**Hình 4.** Mô hình hình học dập vuốt biến mỏng thành bước số 4 (a) và bước 5 (b)

Mô hình vật liệu được xây dựng cho bài toán mô phỏng được thể hiện trong Hình 5. Chia lưới phần tử được thực hiện với phôi ban đầu của bước dập vuốt biến mỏng thành số 4, số phần tử lưới được chia là 3000 phần tử. Kích thước nhỏ nhất của phần tử lưới ban đầu nhỏ hơn 0,1 mm. Hệ số ma sát giữa dụng cụ và phôi biến dạng được lấy cho trường hợp biến dạng nguội và dụng cụ bằng thép có giá trị là 0,1.

Tốc độ của của chày dập vuốt là 15 mm/s, tương ứng với tốc độ biến dạng nhỏ hơn 5 (1/s). Hành trình dịch chuyển của chày bước số 4 và bước số 5 tương ứng là 350 mm và 400 mm.



**Hình 5.** Mô hình vật liệu của hợp kim đồng LK75 trong phần mềm Deform 2D

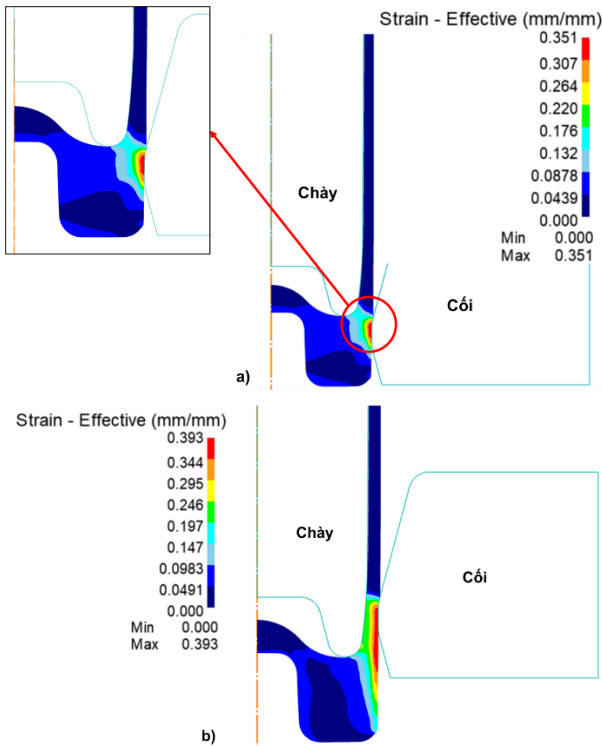
### 3. Kết quả và bàn luận

#### 3.1. Sự thay đổi về trường ứng suất – biến dạng

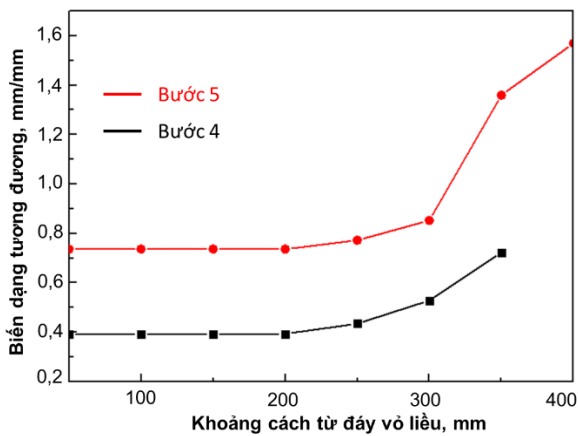
Đối với mỗi bước dập vuốt biến mỏng thành, ổ biến dạng tập trung chủ yếu ở phần còn nhô ra ở mép trong của cối (vùng được khoanh tròn). Kim loại trong ổ biến dạng có xu hướng bị ép sát vào chày theo hướng chéo lên, ngược chiều chuyển động của chày một góc nhất định phụ thuộc vào góc côn của cối dập vuốt biến mỏng thành (Hình 6a). Vùng dưới mặt đầu chày chỉ bị biến dạng đàn hồi do chịu tác dụng của chày đẩy xuống phía dưới. Khi chày tiếp tục đi xuống, ổ biến dạng dịch chuyển theo sự dịch chuyển của phôi, khi phần đáy phôi đã được biến mỏng xong, đến phần thành phôi được vuốt biến mỏng (Hình 6b). Lúc này, kim loại trong ổ biến dạng có xu hướng bị ép vào chày, góc chéo lên trên không nhiều. Sự phân bố ứng suất tập trung chủ yếu ở quanh khu vực ổ biến dạng, với ứng suất cao nhất là 650 MPa và 850 MPa tương ứng với bước dập vuốt biến mỏng thành số 4 và số 5, điều này chứng tỏ ở các bước dập vuốt biến mỏng thành sau, kim loại bị biến cứng mạnh. Tuy nhiên, hệ số phá hủy được khảo sát trong phần mềm Deform theo tiêu chuẩn phá hủy Cockcroft-Latham [14] chỉ đạt giá trị 0,162. Như vậy, với các giá trị ứng suất thu được, vật liệu chưa thể bị phá hủy. Ứng suất ở vùng dưới cầu vuốt (vùng trụ của cối dập vuốt biến mỏng thành) cũng tồn tại do chịu lực kéo của đầu chày tác dụng lên phần đáy phôi. Nếu ứng suất này vượt quá ứng suất chảy thì sẽ xảy ra hiện tượng kéo dài sản phẩm, chiều dày thành giảm đi và dẫn đến hiện tượng đứt đáy tại vị trí này. Đây là điểm cần đặc biệt lưu ý khi thiết kế và chế tạo các chi tiết bằng phương pháp dập vuốt biến mỏng thành.

Biến dạng tương đương (strain- effective) dọc theo chiều cao của vỏ liều (tính từ đáy của vỏ liều) của bước 4 và bước 5 được trình bày trong Hình 7. Ứng suất tương đương (stress- effective) dọc theo chiều cao của vỏ liều của bước 4 và bước 5 được trình bày trong Hình 8. Nhận thấy theo chiều cao từ đáy vỏ liều biến dạng tương đương của phôi vỏ liều tăng. Biến dạng ở vị trí cách đáy bán sản phẩm 50 mm của bước 4 và bước 5 tương ứng là 0,393 (mm/mm) và 0,736 (mm/mm). Biến dạng ở vị trí cách miệng bán

sản phẩm 50 mm của bước 4 và bước 5 tương ứng là 0,528 (mm/mm) và 1,36 (mm/mm).

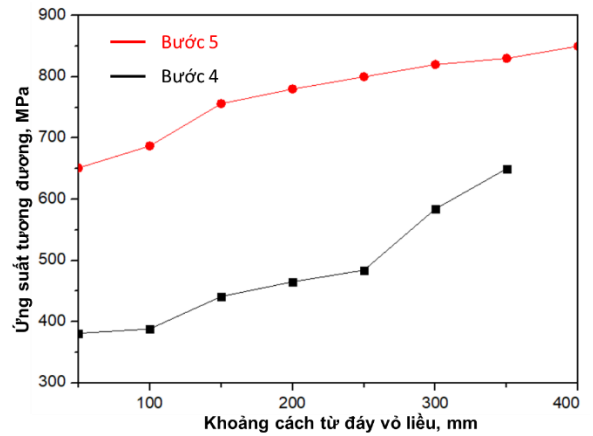


**Hình 6.** Trường ứng suất biến dạng của phôi khí bắt đầu quá trình dập vuốt biến mỏng thành (a) và khi thành bán sản phẩm bị biến mỏng (b)



**Hình 7.** Biến dạng của phôi khí dập vuốt biến mỏng thành dọc theo chiều cao vỏ liệu của bước số 4 và bước số 5

Điều này được tương đồng với các tính toán lý thuyết do chiều dày của vỏ liệu sau các bước dập vuốt biến mỏng thành có chiều dày phần đáy lớn hơn chiều dày của nó dọc theo chiều cao. Đối với biến dạng nguội, với sự tăng của biến dạng dọc theo chiều cao của vỏ liệu, tương ứng với sự tăng của sự hoá bền do biến dạng. Vì vậy, theo Hình 8, ứng suất lớn nhất tại ổ biến dạng cũng thay đổi theo chiều hướng tăng từ đáy vỏ liệu lên miệng vỏ liệu. Ứng suất ở vị trí cách đáy bán sản phẩm 50 mm của bước 4 và bước 5 tương ứng là 350 MPa và 460 MPa. Ứng suất ở vị trí các miệng bán sản phẩm 50 mm của bước 4 và bước 5 tương ứng là 550 MPa và 830 MPa.



**Hình 8.** Ứng suất của phôi khí dập vuốt biến mỏng thành dọc theo chiều cao vỏ liệu của bước số 4 và bước số 5

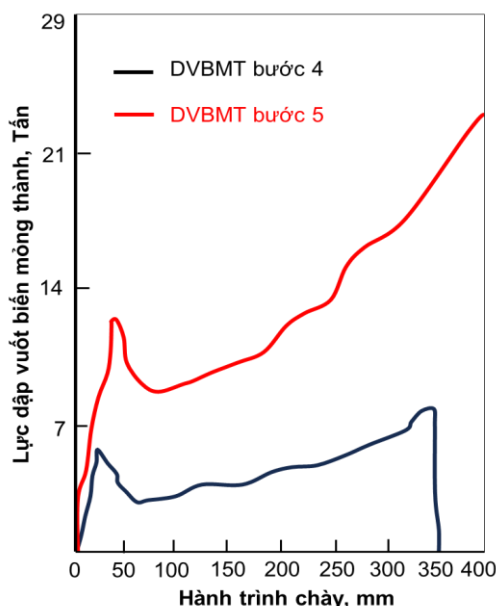
Với các kết quả này, cho thấy sự tương đồng giữa mô phỏng và tính toán lý thuyết của nguyên công dập vuốt biến mỏng thành [1, 3]. Chính sự thay đổi của trường ứng suất biến dạng của phôi dọc theo chiều cao của vỏ liệu là cơ sở cho quá trình sản xuất thực tế nhằm đáp ứng yêu cầu về cơ tính của vỏ liệu đạn 40 mm NATO [8].

### 3.2. Lực dập vuốt biến mỏng thành

Biểu đồ lực dập vuốt biến mỏng thành bước số 4 và bước số 5 theo hành trình của chày được tổng hợp trong Hình 9.

So sánh lực giữa các bước dập vuốt biến mỏng thành, nhận thấy biểu đồ lực dập vuốt biến mỏng theo hành trình chày chia thành 3 giai đoạn. Giai đoạn 1 từ khi đáy vỏ liệu chạm cối đến thời điểm đáy bị biến dạng. Giai đoạn này lực dập tăng lên nhanh chóng. Giai đoạn 2 bắt đầu khi sự biến mỏng phần chuyển tiếp giữa đáy và thành xảy ra. Giai đoạn này, lực dập vuốt biến mỏng thành có xu hướng giảm do sự giảm chiều dày giữa đáy và thành của bán sản phẩm. Giai đoạn 3 là giai đoạn biến mỏng thành của bán sản phẩm, kết thúc khi toàn bộ thành bán sản phẩm được biến mỏng. Giai đoạn này, lực tăng lên theo hành trình của chày. Điều này hoàn toàn đúng với lý thuyết gia công áp lực [1-3]. Điều này có thể giải thích do sự tăng của biến dạng và ứng suất theo chiều cao của bán sản phẩm vỏ liệu (Hình 7 và Hình 8), chính vì vậy lực dập vuốt biến mỏng thành tăng lên theo hành trình chày. Lực dập vuốt biến mỏng thành lớn nhất của bước 4 và bước 5 đạt giá trị lần lượt khoảng 8 (tấn) và 24 (tấn). Với những giá trị này, các máy ép thủy lực hiện nay hoàn toàn có thể đáp ứng được cho quá trình thực nghiệm chế tạo.

Ngoài ra, các bước dập vuốt biến mỏng thành được xác định thông qua hệ số biến mỏng (tỷ lệ giữa chiều dày bước sau chia cho chiều dày bước dập vuốt biến mỏng trước). Hệ số biến mỏng cho phép của các bước phụ thuộc vào bản chất vật liệu. Đối với các bước dập vuốt biến mỏng thành sau, do phôi đã bị hoá bền biến dạng từ bước trước nên ứng suất tăng và do đó lực biến dạng tăng đáng kể so với bước dập vuốt biến mỏng trước. Hệ số biến mỏng các bước sau sẽ tăng lên so với các bước dập trước. Khi chiều dày thành càng mỏng thì càng biến cứng xảy ra càng mãnh liệt [1, 4, 11]. Việc xác định được lực dập vuốt biến mỏng thành theo hành trình của chày dập vuốt là cơ sở quan trọng cho việc lựa chọn thiết bị dập khí tính toán, thiết kế quy trình công nghệ.



Hình 9. Biểu đồ lực dập vuốt biến mỏng thành của bước số 4 và bước số 5

#### 4. Kết luận

Trong bài báo này, phương pháp dập vuốt biến mỏng thành chi tiết vỏ liều đạn 40 mm NATO được nghiên cứu thông qua các bài toán mô phỏng bằng phần mềm Deform 2D. Các kết quả mô phỏng thu được cho thấy, sự phân bố trường ứng suất-biến dạng của hai bước dập vuốt biến mỏng thành cuối cùng trong quy trình công nghệ tạo hình vỏ liều đạn 40 mm. Sự thay đổi của ứng suất-biến dạng của các bước liên tiếp nhằm đáp ứng các yêu cầu khắt khe về cơ tính của vỏ liều. Thông qua các giá trị lực dập vuốt biến mỏng thành là cơ sở để lựa chọn trang thiết bị tạo hình cho quá trình thực tế sản xuất. Nghiên cứu thực nghiệm tạo hình vỏ liều, ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ biến dạng và xử lý nhiệt đến cơ tính của vỏ liều đạn 40 mm NATO là những hướng phát triển trong thời gian tiếp theo.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D. V. Phong, N. T. An, and T. D. Xuan, *Metal sheet forming technology*, Hanoi: People's Army Publishing House, 2015.
- [2] N. M. Dang, N. N. Huynh, and P. H. Duong, *Sheet metal forming technology*, Hanoi: Science and Technology Publishing House, 2006.
- [3] D. V. Phong, *Theory of Pressure Machining*, Hanoi: Military Technical Academy, 2003.
- [4] N. T. Tien, *Theory of metal plastic deformation*, Hanoi: Vietnam Education Publishing House, 2004.
- [5] J. Zhao, X. Wang, Q. Yang, Q. Wang, Y. Wang, and W. Li, "Mechanism of lateral metal flow on residual stress distribution during hot strip rolling", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 228, pp. 116838, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116838>
- [6] B.C Cameron and C.C. Tazan, "Partial differential equations to determine elasto-plastic stress-strain behavior from measured kinematic fields", *International Journal of Plasticity*, Vol. 162, pp. 103512, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2022.103512>
- [7] F. Maaß, M. Hahn, and A. E. Tekkaya, "Interaction of process parameters, forming mechanisms, and residual stresses in single point incremental forming", *Metals*, Vol. 10, No. 5, pp. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.3390/met10050656>
- [8] T. B. Tan and N. V. Thang, *Production and acceptance of artillery shell dosing tubes*, Hanoi: Military Technical Academy, 2008.
- [9] N. M. Tien, T. D. Hoan, N. T. An, and P. M. Tuan, "Numerical simulation to study effect of die design parameters on deformation possibility of metal on combined drawing", *Vietnam Journal of Science and Technology*, Vol. 56, No. 3, pp. 397-404, 2018. <https://doi.org/10.15625/2525-2518/56/3/9196>
- [10] N. M. Tien, T. D. Hoan, N. T. An, L. T. Tan, and L. D. Giang, "Numerical Simulation on the Combined Drawing Technology in Fabrication of Cylindrical Details from Sheet Metal", *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, Vol. 3, No. 8, pp. 396-400, 2018.
- [11] T. Heinz, *Metal Forming Practise: Processes - Machines - Tools*, Berlin: Springer, 2020.
- [12] Z. Marciniak, J.L. Duncan, and S.J. Hu, *Mechanics of Sheet Metal Forming*, Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002.
- [13] A. A. Bogatov, *Mechanical properties and fracture models of metals*, State Educational Institution of Higher Professional Education USTU-UPI, 2002. - 329 p.
- [14] S. Stebunov, A. Vlasov, and N. Biba, "Prediction of fracture in cold forging with modified Cockcroft-Latham criterion", *Procedia Manufacturing*, vol. 15, pp. 519-526, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.264>