

# MÔ HÌNH HÓA VÀ MÔ PHỎNG SỐ QUÁ TRÌNH DẬP VUỐT KẾT HỢP BIẾN MỎNG THÀNH NGUYÊN CÔNG ĐẦU

## MODELLING AND SIMULATION IN COMBINED DRAWING OF FIRST STEP

Nguyễn Mạnh Tiến<sup>1</sup>, Trần Đức Hoàn<sup>1</sup>, Phạm Mạnh Tuấn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Học viện Kỹ thuật Quân sự; manhtiennnguyen84@gmail.com

<sup>2</sup>Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

**Tóm tắt** - Bài báo trình bày mô hình bài toán và kết quả chương trình mô phỏng số quá trình dập vuốt kết hợp với biến mỏng thành nguyên công đầu chi tiết dạng trụ rỗng từ vật liệu tấm. Phương pháp phần tử hữu hạn là công cụ hữu ích trong mô phỏng các nguyên công dập. Quá trình mô phỏng số sử dụng phần mềm Deform 2D, đây là phần mềm chuyên dụng trong mô phỏng quá trình biến dạng tạo hình vật liệu. Các kết quả nghiên cứu thu được bao gồm trường ứng suất, trường biến dạng, lực dập của các nguyên công công nghệ. Dựa trên các kết quả mô phỏng số giúp so sánh, kiểm chứng và hoàn thiện quá trình tính toán công nghệ, giảm thiểu thời gian và kinh phí các bước chế thử, nâng cao tính kinh tế trong chế tạo sản phẩm.

**Từ khóa** - mô hình hóa; mô phỏng số; dập vuốt kết hợp; biến dạng; nguyên công đầu.

**Abstract** - This paper presents modeling and simulation results of combined drawing process of the first step in fabrication of cylindrical detail from sheet metal. Finite element method has been a useful tool in simulating forming operations. The simulation program uses Deform 2D software, which is a specialized software for simulation of material deformation. The results of the study include effective stress, effective strain, drawing force of technological process. The results of numerical simulation help to compare, verify and complete the calculation technology process, reduce the time and cost of testing steps, and improve the economy in manufacturing products.

**Key words** - modelling; simulation; combined drawing; deformation; first step.

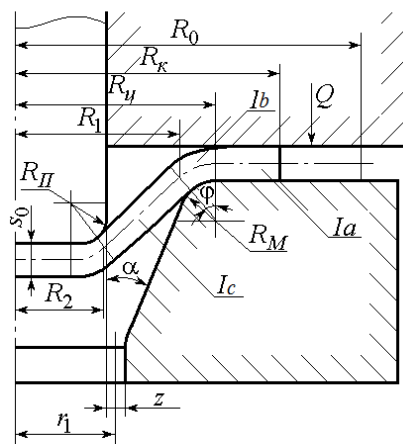
### 1. Đặt vấn đề

Dập vuốt biến mỏng thành (DVBM) là phương pháp cơ bản để chế tạo các chi tiết dạng trụ có thành mỏng hơn đáy từ phôi phẳng và được ứng dụng rộng rãi trong sản xuất kinh tế và quốc phòng, an ninh. Tuy nhiên, hiện nay quy trình công nghệ đang được áp dụng để chế tạo các chi tiết này là thực hiện các dập vuốt một số nguyên công, sau đó thực hiện quá trình biến mỏng thành [1]. Đối với quy trình công nghệ đang áp dụng, số lượng nguyên công nhiều dẫn đến năng suất không cao, tăng giá thành sản phẩm.

Giảm bớt số nguyên công, tăng mức độ biến dạng của mỗi nguyên công và nâng cao độ chính xác của sản phẩm có thể thực hiện được bằng phương pháp dập vuốt kết hợp (DVKH) với biến mỏng thành. DVKH – là quá trình biến dạng đồng thời giảm chu vi (đường kính) và chiều dày thành của bán sản phẩm (Hình 1) [2].

### 2. Xây dựng mô hình bài toán DVKH nguyên công đầu

Việc xây dựng bài toán DVKH được chia thành 2 giai đoạn: giai đoạn thu nhỏ đường kính phôi và giai đoạn biến mỏng chiều dày thành. Đối với giai đoạn thu nhỏ, đường kính phôi có sơ đồ được trình bày trên Hình 2.



**Hình 2.** Giai đoạn thu nhỏ đường kính khi DVKH

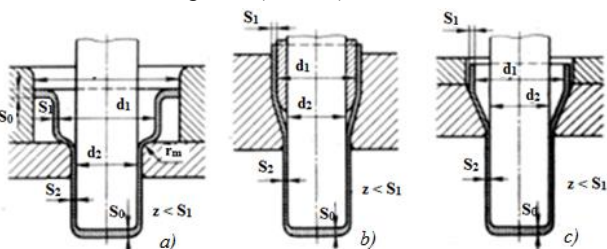
Khi DVKH, giai đoạn thu nhỏ đường kính sẽ chia phôi thành 3 vùng:  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$  như trên Hình 2, với:

$I_a$ : Vùng giới hạn bởi  $R_k$  (bán kính lớn nhất của phôi tại thời điểm đang xét) với  $R_u$  (bán kính giới hạn bởi đường ngoài bán kính lượn phôi theo cối).

$I_b$ : Vùng giới hạn bởi  $R_u$  và  $R_1$  (bán kính giới hạn bởi trung bình đường trong bán kính lượn của phôi theo cối).

$I_c$ : Vùng giới hạn bởi 2 đường biên bán kính lượn của phôi (theo chày và cối) gần nhất.

Ứng suất trục hướng kính tại ổ biến dạng  $\sigma_p$  và ứng suất hướng tiếp tuyến tại ổ biến dạng  $\sigma_\theta$  được tính trong phương trình vi phân cân bằng ổ biến dạng dẹt:



**Hình 1.** Một số sơ đồ dập vuốt kết hợp với biến mỏng thành

Trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết quá trình DVKH, bài báo tiến hành nghiên cứu xây dựng mô hình bài toán và ứng dụng phần mềm mô phỏng số, mô phỏng công nghệ dập vuốt kết hợp nguyên công đầu trong chế tạo chi tiết dạng trụ từ phôi phẳng. Các kết quả khảo sát bao gồm: trường ứng suất, trường biến dạng, lực công nghệ. Dựa trên các kết quả mô phỏng số giúp so sánh, kiểm chứng và hoàn thiện quá trình tính toán công nghệ, giảm thiểu thời gian và kinh phí các bước chế thử, nâng cao tính kinh tế trong chế tạo sản phẩm.

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho \left(1 + \frac{\rho ds}{s d\rho}\right) - \sigma_\theta = 0 \quad (1)$$

Cùng các điều kiện dẻo:

$$\sigma_\rho^2 + \sigma_\theta^2 - \frac{2R}{1+R} \sigma_\rho \sigma_\theta = \sigma_i^2 \left[ \frac{2(2+R)}{3(1+R)} \right] \quad (2)$$

Với các điều kiện biên:

$$\rho = R_k, \sigma_\rho = \frac{\mu_M Q}{\pi R_k s_0} \quad (3)$$

Với  $\rho$  là bán kính chất điểm tại thời điểm đang xét ( $R_k \geq \rho \geq R_u$ ),  $\mu_M$  là hệ số ma sát giữa bề mặt khuôn và phôi chỗ tiếp xúc tại lực ép,  $Q$  là lực ép biên [3, 4].

Sử dụng phương pháp hữu hạn xây dựng được phương trình sau:

$$\sigma_{\rho n} = \sigma_{\rho n-1} - \frac{r_n - r_{n-1}}{r_{n-1}} \left[ \sigma_{\rho n-1} (1+f) + \sigma_{\theta n-1} \right] \quad (4)$$

Sau khi xác định  $\sigma_{\rho n}$  sẽ tìm được  $\sigma_{\theta n}$  từ điều kiện dẻo (2) với điều kiện biên (3).

$\sigma_\rho$  và  $\sigma_\theta$  tại vùng  $I_b$  được xác định trong biểu thức sau [5]:

$$\frac{d\sigma_\rho}{d\varphi} - \sigma_\rho \left( \frac{\cos \varphi}{a - \sin \varphi} + \mu - \frac{ds}{s d\varphi} \right) + \sigma_\theta \frac{\cos \varphi + \mu \sin \varphi}{a - \sin \varphi} = 0 \quad (5)$$

Tại  $\varphi = 0$ :

$$\sigma_\rho = \sigma_{\rho\phi} \Big|_{\rho=R_u} + \sigma_{s\rho} \Big|_{\rho=R_u} \cdot \frac{s}{4R_{MC}} \quad (6)$$

Với  $\varphi$  là góc đặc trưng cho vị trí biến dạng đang xét của phôi;  $\mu_M$  là hệ số ma sát phần tiếp xúc trên bề mặt phôi;  $a = R_u/R_{MC}$ ;  $R_{MC} = R_M + 0,5s_0$ ;  $\sigma_{\rho\phi}$  là giá trị của ứng suất tiếp tuyến tại vùng vành phôi ( $I_a$ ) tại  $\rho = R_u$ ;  $\sigma_{s\rho}$  là giới hạn chảy của vật liệu có tính biến cứng (trở lực biến dạng thực).

Ứng suất  $\sigma_\rho$  và  $\sigma_u$  trên vùng biến dạng côn (không tiếp xúc) được xác định bởi phương trình vi phân (1) và điều kiện dẻo (2) với các điều kiện biên.

$$\rho = R_1, \sigma_\rho = \sigma_{\rho T} \Big|_{\varphi=\varphi_2} + \sigma_{s\rho} \Big|_{\varphi=\varphi_2} \frac{s}{4R_{MC}} \quad (7)$$

Tại đó, góc  $\varphi_2$ , tiếp giáp với phần côn và phần phẳng;  $\varphi = \varphi_2$ ;  $\sigma_{\rho T}$  được xác định tính theo  $\varphi = \varphi_2$ ;  $\sigma_{s\rho} \Big|_{\varphi=\varphi_2}$  là giới hạn chảy của vật liệu có tính biến cứng (trở lực biến dạng thực)  $\varphi = \varphi_2$ .

Lực tại giai đoạn đầu được tính bởi biểu thức:

$$P = 2\pi(r_1 - R'_{IIc} + R_{IIc} \sin \varphi) s_0 \sigma_{\rho I} \sin \varphi \quad (8)$$

$R'_{IIc} = R_{II} + 0,5s_1$ ;  $R_{IIc} = R_{II} + 0,5s_0$ ;  $\sigma_{\rho I}$  là ứng suất trục hướng kính trong khoảng  $\rho = R_2$ , trong đó xác định theo các mối quan hệ (1), (2), và điều kiện biên (3), (6) và (7), trong trường hợp một phần hình côn của ứng suất không tiếp xúc ( $\varphi = \varphi_2$ ) và có tính đến các biểu thức (1), (2) tại thời điểm phôi tiếp xúc toàn bộ cối côn ( $\varphi = \varphi_1$ ) với các điều kiện biên (3), (6) và (7).

Tại vùng  $I_a$ , các ứng suất phụ thuộc vào ma sát tiếp xúc giữa các bề mặt phôi và dụng cụ.

Phương trình vi phân cân bằng [6, 7].

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho \left(1 + \frac{\rho ds}{s d\rho}\right) - \sigma_\theta - \frac{\mu_M \sigma_\theta}{\tan \alpha} = 0 \quad (9)$$

Cùng với điều kiện dẻo (2) và các điều kiện biên:

$$\rho = R_1 (\varphi = \varphi_1),$$

$$\sigma_\rho = \sigma_{\rho T} \Big|_{\varphi=\varphi_1} + \sigma_{s\rho} \Big|_{\varphi=\varphi_1} \frac{s}{4R_{MC}} \quad (10)$$

Xác định sự phân bố ứng suất trong vùng  $I_a$ , khi mà  $\varphi_1 = \pi/2 - \alpha$ . Giá trị biến dạng xác định theo phương trình:

$$d\varepsilon_\theta = \frac{d\rho}{\rho} \quad (11)$$

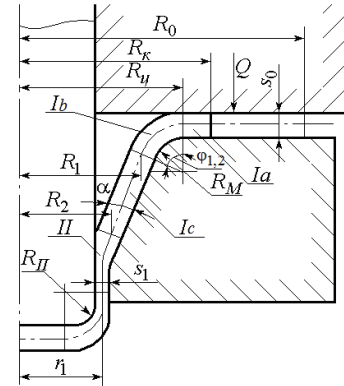
Lượng biến dạng [7] xác định như sau:

$$d\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2(2+R)}}{\sqrt{3(2R+1)}} \left\{ R(d\varepsilon_\rho - d\varepsilon_\theta)^2 + [d\varepsilon_\theta(1+R) + Rd\varepsilon_\rho]^2 + [d\varepsilon_\rho(1+R) + Rd\varepsilon_\theta]^2 \right\}^{1/2}. \quad (12)$$

Sự thay đổi chiều dày phôi được thể hiện qua công thức:

$$s = s_0 e^{\rho \int f \frac{d\rho}{\rho}} \quad (13)$$

Giai đoạn tiếp theo của nguyên công đầu trong DVKH được bắt đầu khi thực hiện quá trình biến mỏng (Hình 3).



Hình 3. Giai đoạn biến mỏng chiều dày thành khi DVKH

Trong giai đoạn biến mỏng tập trung xem xét ứng suất và biến dạng tại khu vực II (khu vực biến mỏng - Hình 3) bởi vì tại đó vật liệu sẽ biến dạng với mức độ lớn nhất và có thể gây phá hủy. Theo Định luật ma sát Coulomb về sự tiếp xúc của dụng cụ và phôi tại vùng II (Hình 4) [8]:

$$\tau_M = \mu_M \sigma; \tau_{II} = \mu_{II} \sigma_K \quad (14)$$

Các thành phần hướng kính  $\sigma_\rho$  và tiếp tuyến  $\sigma_K$  trong vùng biến dạng dẻo (Hình 3) được xác định theo phương trình gần đúng mô tả các phần tử trong vùng:

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_K (1+M) = 0 \quad (15)$$

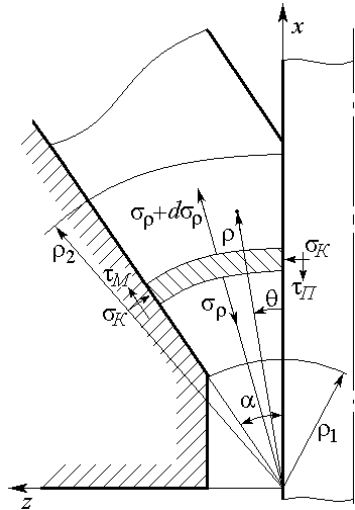
Và điều kiện chảy dẻo [9, 7]:

$$\sigma_\rho - \sigma_K = 2\tau_{s\rho z} \sqrt{\frac{1-c}{1-c \sin^2 2\beta}} \quad (16)$$

Điều kiện biên vùng I và II:

$$\rho = \rho_1, \sigma_\rho = \sigma_{\rho sp} \tag{17}$$

Với  $\rho$  bán kính tọa độ phần mặt cắt đang xét trên hệ tọa độ cực;  $M = -(\mu_{II} - \mu_M)/tg\alpha$ ;  $\tau_{s\rho z}$  là trở lực biến dạng dẻo trong mặt phẳng cắt  $\rho z$ ;  $\beta = \alpha/2$  là góc giữa  $\sigma_\rho$  và hướng trục x; c là đặc tính của bất đẳng hướng trong điều kiện biến dạng phẳng.



**Hình 4.** Sơ đồ trạng thái ứng suất phôi trong vùng biến dạng phẳng

Công thức xác định ứng suất trục:

$$\sigma_x = \sigma_{\rho II} \Big|_{\rho = \rho_2} + \tau_{s\rho z} \Big|_{\rho = \rho_2} \sqrt{\frac{1-c}{1-c \sin^2 \alpha}} tg \frac{\alpha}{2} \tag{18}$$

Mối quan hệ giữa chiều dày và các tọa độ cực được xác định như sau:

$$\rho_1 = s/\alpha \text{ và } \rho_2 = s_1/\alpha, \tag{19}$$

Với s và s<sub>1</sub> lần lượt là chiều dày ban đầu của phôi và chiều dày biến mỏng đang xét.

Trong khi đó, tại vùng II là quá trình biến dạng phẳng, tức là biến dạng theo hướng tiếp tuyến d<sub>eθ</sub>, biến dạng hướng kính d<sub>ερ</sub> và biến dạng theo chiều dày thành d<sub>εz</sub> được tính như sau:

$$d\epsilon_z = -d\epsilon_\rho = \frac{ds}{s} \tag{20}$$

Cường độ biến dạng ε<sub>i</sub> có tính đến các mối quan hệ (20) được tính bằng biểu thức (12).

Giai đoạn cuối cùng của nguyên công đầu tiên là giai đoạn phôi thoát khỏi phần vành cối, thực hiện kết thúc biến mỏng qua cối. Giai đoạn này có thể sử dụng chung các công thức (15), (16), (17), (18) với liên hệ σ<sub>ρI</sub> = 0.

Lực hai giai đoạn cuối xác định theo công thức:

$$P = \pi d_1 s_1 \sigma_x + \pi \mu_{II} d_{II} \int_{\rho_1}^{\rho_2} \sigma_k |d\rho| \tag{21}$$

Với d<sub>n</sub> là đường kính chày.

### 3. Mô phỏng số quá trình biến dạng quá trình DVKH nguyên công đầu

#### 3.1. Mô hình bài toán mô phỏng

- Đối tượng nghiên cứu: nguyên công DVKH phôi tấm

từ vật liệu tấm từ thép 08кπ (GOST 1050-88).

- Mô hình vật liệu được xác định theo công thức:

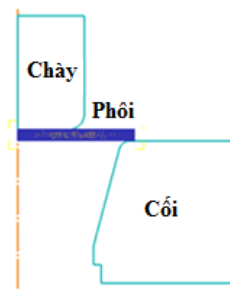
$$\sigma_i = k \epsilon_i^n$$

Trong đó: k = 750 Mpa, n = 0,16 [10].

- Mô hình hình học quá trình DVKH nguyên công đầu với các thông số mô hình hình học được cho trong Bảng 1 và Hình 5.

**Bảng 1.** Thông số hình học nguyên công DVKH

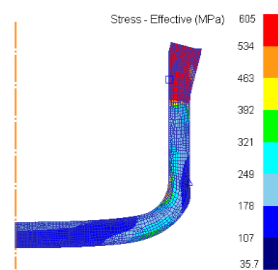
Thông số hình học	Giá trị (đơn vị)
Bước dập	1
Kích thước phôi (D <sub>p</sub> )	62 mm
Chiều dày phôi (s <sub>0</sub> )	3 mm
Chiều dày thành sau bước 1	2,4 mm
Bán kính cối (R <sub>c</sub> )	10 mm
Bán kính chày (R <sub>ch</sub> )	4 mm
Góc nghiêng cối (α)	15°



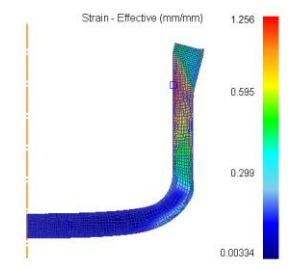
**Hình 5.** Mô hình hình học quá trình DVKH nguyên công đầu (Deform 2D)

#### 3.2. Kết quả mô phỏng

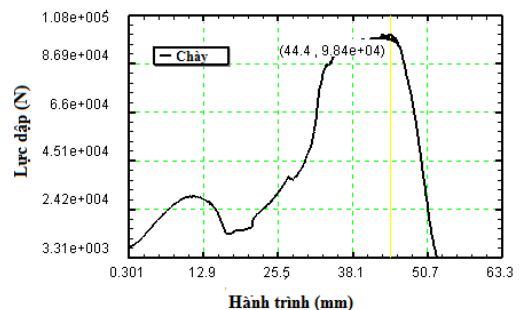
Kết quả mô phỏng được khảo sát bao gồm: cường độ ứng suất, mức độ biến dạng tương đương, lực dập theo hành trình được trình bày trong các Hình 6, 7, 8.



**Hình 6.** Ứng suất tương đương lớn nhất khi DVKH



**Hình 7.** Mức độ biến dạng tương đương khi DVKH

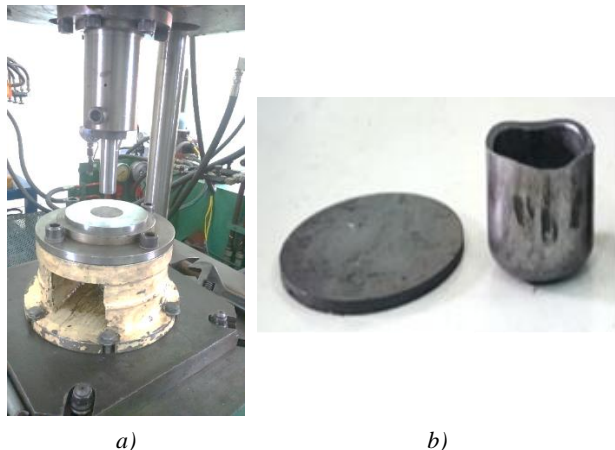


**Hình 8.** Sự biến thiên lực dập theo hành trình dập

Các kết quả thu được xác định bằng phương pháp phân tử hữu hạn thông qua phần mềm mô phỏng quá trình biến dạng Deform 2D [11] – phần mềm chuyên dụng trong lĩnh vực biến dạng tạo hình vật liệu giúp cho quá trình tính toán các thông số công nghệ tạo hình được nhanh chóng, thuận tiện, có độ tin cậy cao, là cơ sở để thực hiện quá trình thực nghiệm thực tế.

#### 4. Thực nghiệm quá trình biến dạng

Thực nghiệm DVKH nguyên công đầu chi tiết dạng trụ tròn xoay với các thông số của dụng cụ và phối như mô hình mô phỏng số, thu được kết quả như Hình 9.



**Hình 9.** Thực nghiệm DVKH nguyên công đầu chi tiết dạng trụ tròn xoay  
a) Dụng cụ dập; b) Phối và sản phẩm

Với các tính toán lý thuyết và mô phỏng, tiến hành thực nghiệm trên máy ép thủy lực YH32/100T. Các sản phẩm thu được đạt yêu cầu về chất lượng bề mặt và không bị phá hủy. Các thông số về kích thước sản phẩm và lực dập sau Bước 1 được cho trong Bảng 2.

**Bảng 2.** Các kích thước bán thành phẩm

Lực dập	Chiều cao	Đường kính	Chiều dày thành
P = 39,36(Tấn)	$H_{tb}$ , mm	$D_{tb}$ , mm	$s_{tb}$ , mm
	28,2	36,5	2,4

Trong đó,  $H_{tb}$  là chiều cao trung bình của bán thành phẩm;  $D_{tb}$  là đường kính ngoài trung bình của bán thành phẩm;  $s_{tb}$  là chiều dày thành trung bình bán thành phẩm; P là lực dập thực tế.

Nhận thấy, các kết quả thực nghiệm tương đồng với tính toán quá trình công nghệ. Sản phẩm có chất lượng hình dáng và bề mặt đảm bảo. Lực dập đảm bảo điều kiện trang thiết bị dập.

#### 5. Kết luận

Bằng việc xây dựng mô hình bài toán, sử dụng quá trình mô phỏng số và thực nghiệm tạo hình chi tiết dạng trụ tròn xoay bằng công nghệ DVKH, bài báo đã thu được một số thông số công nghệ cần thiết cho quá trình tạo hình như: trường ứng suất, trường biến dạng, lực dập cần thiết. Đây là những thông số giúp đánh giá tính đúng đắn của quy trình công nghệ tính toán và tính khả thi cho việc ứng dụng vào thực tế sản xuất. Bài báo sử dụng phần mềm mô phỏng quá trình như một công cụ hữu ích để kiểm nghiệm, so sánh các kết quả khi tính toán lý thuyết, đồng thời là cơ sở tin cậy cho quá trình thực nghiệm, giảm bớt các bước chế thử, giảm tiêu hao vật liệu, dụng cụ, thiết bị, từ đó nâng cao năng suất và tính kinh tế.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. Altan and A.E. Tekkaya, *Sheet Metal Forming, Fundamentals*, 2005.
- [2] Валиев С.А., *Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов*, М.: Машиностроение, 1973, 176 с.
- [3] Ковка и штамповка: *Справочник: В 4 т. Т. 4. Листовая штамповка* / Под общ. ред. С.С. Яковлева; ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2010, 732 с.
- [4] Романовский В.П., *Справочник по холодной штамповке*, Л.: Машиностроение, 1979, 520 с.
- [5] Ашкенази Е.К., *Анизотропия машиностроительных материалов*, Л.: Машиностроение, 1969, 112 с.
- [6] Попов Е.А., *Основы теории листовой штамповки*, М.: Машиностроение, 1968, 283 с.
- [7] Яковлев С.С., Кухарь В.Д., Трегубов В.И. *Теория и технология штамповки анизотропных материалов* / под ред. С.С. Яковлева. М.: Машиностроение, 2012, 400 с.
- [8] Валиев С.А., Яковлев С.С., *Технология холодной штамповки. Комбинированная вытяжка анизотропного материала*. Тула: ТулПИ, 1986, 66 с.
- [9] Яковлев С.П., Яковлев С.С., Андрейченко В.А., *Обработка давлением анизотропных материалов*, Кишинев: Квант, 1997, 331 с.
- [10] Уваров В.В., Носова Е.А., *Структура и свойства листовых сталей для холодной штамповки: Учебное пособие*/Под общ. ред. Гречникова Ф.В.-Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2003, 74 с.
- [11] *DEFORM v10.2 System Manual*, Scientific Forming Technologies Corporation, 2014.

(BBT nhận bài: 11/9/2017, hoàn tất thủ tục phân biên: 06/10/2017)