

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC TỶ SỐ d/D VÀ H/D ĐẾN QUÁ TRÌNH TẠO HÌNH CHI TIẾT ỐNG KHI ÉP CHẢY NGƯỢC THÉP HỢP KIM Ở TRẠNG THÁI NÓNG BẰNG MÔ PHÒNG SỐ

RESEARCH ON EFFECTS OF d/D AND H/D RATIOS ON THE FORMING TUBING PROCESSES USING HOT BACKWARD EXTRUSION ALLOYED STEEL BASED ON NUMERICAL SIMULATION

Bùi Khắc Khánh^{1,3}, Nguyễn Hà Tuấn², Vũ Trung Tuyền³, Phạm Văn Nghệ⁴

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

²Viện Công nghệ, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

³Viện Nghiên cứu Cơ khí

⁴Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Ép chảy ngược là một dạng công nghệ cơ bản của phương pháp gia công áp lực, được ứng dụng ngày càng nhiều trong sản xuất cơ khí. Công nghệ này có thể tạo ra các chi tiết dạng ống có cơ tính cao nhờ hiện tượng nén khối kim loại trong buồng ép. Bằng phương pháp mô phỏng số có thể dự đoán được khả năng tạo hình kim loại, qua đó giải quyết được yêu cầu chi tiết ống sau khi ép đạt được kích thước chiều cao lớn nhất và chiều dày thành mỏng nhất. Mô phỏng quá trình tạo hình chi tiết dạng ống thông qua sự thay đổi của tỷ số đường kính trong với đường kính ngoài (d/D) và tỷ số giữa chiều cao với đường kính ngoài (H/D) của sản phẩm được sử dụng trên phần mềm Abaqus. Qua phân tích kết quả mô phỏng, tìm được bộ thông số phù hợp của (d/D) và (H/D), cho phép nâng cao hiệu quả trong quá trình ép chảy ngược, làm cơ sở cho quá trình thực nghiệm chế tạo chi tiết ống chịu áp lực bằng phương pháp ép chảy ngược.

Từ khóa: Phần mềm Abaqus; Ép chảy ngược; Tạo hình chi tiết dạng ống từ kim loại; Mô phỏng số; Thực nghiệm.

ABSTRACT

Backward extrusion is a fundamental technology in metal forming which is widely applied in mechanical manufacturing. This process can create the tubing product type with high mechanical properties based on the compression phenomenon of the workpiece in the chamber. The numerical simulation can be used to predict the forming ability of the metal, especially, it provides the maximum height and thinnest wall thickness of pressed tubing. Numerical simulation for forming the tubing product with different ratios of inner diameter to outer diameter (d/D) and ratio between height to outside diameter (H/D) are performed through Abaqus software. From the analysis of the simulation results, the optimal set of parameters (d/D) and (H/D) are found, which allows to improve the efficiency of the backward extrusion; it is the basis for the experimental process to make tubing products by the backward extrusion.

Keywords: Abaqus software; Backward extrusion; Metal workpiece forming tubing; Numerical simulation; Experimental.

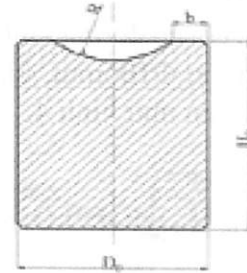
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Do nhu cầu sử dụng chi tiết dạng ống nói chung và ống chịu áp lực nói riêng ngày càng lớn trong công nghiệp và quốc phòng. Tuy nhiên, phần lớn các chi tiết ống chịu áp lực hiện đang phải nhập khẩu từ nước ngoài. Thông thường, các chi tiết ống chịu áp lực được sản xuất bằng phương pháp dập vuốt từ phôi tấm. Tuy nhiên, ở nước ta hiện nay, việc chế tạo phôi thép tấm có cơ tính cần thiết để chế tạo ống chịu áp lực còn gặp nhiều khó khăn. Vì vậy, việc tìm hiểu công nghệ và thiết bị để sản xuất ra các loại sản phẩm này là điều rất cần thiết. Ứng dụng công nghệ ép chảy ngược từ phôi thép đúc (như hình 1) là một giải pháp hiệu quả cho việc chế tạo ống chịu áp lực trong điều kiện sản xuất ở Việt Nam hiện nay. Trước kia, tiến hành ép chảy ngược phôi thép đúc chủ yếu dựa vào tính toán lý thuyết và thực nghiệm gây tốn kém do phải thực nghiệm nhiều lần. Vì vậy, ứng dụng phần mềm mô phỏng số trong tính toán hoàn thiện công nghệ là một giải pháp phù hợp mang lại hiệu quả kinh tế cho việc chế tạo ống chịu áp lực.

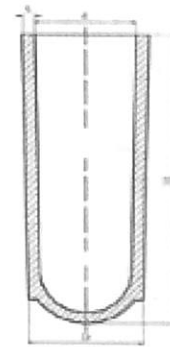
Với công nghệ ép chảy ngược, kim loại bị nén khối trong quá trình tạo hình nên cơ tính của chi tiết sau khi ép chảy được cải thiện rất nhiều [1],[2]. Trong thực tế sản xuất, chi tiết dạng ống sau khi ép chảy ngược thường phải đưa qua các nguyên công dập vuốt biến mỏng thành nhằm tăng chiều cao và giảm chiều dày thành ống [3]. Do vậy, yêu cầu đặt ra cho sản phẩm sau khi ép chảy cần có chiều cao lớn nhất và chiều dày thành nhỏ nhất.

Hiện nay, có một số phần mềm mô phỏng số được sử dụng cho bài toán ép chảy ngược như: Qform, Derform, Ansys...Tuy nhiên, để giải quyết bài toán biến dạng mảnh liệt với kho phần tử phong phú, có thể phân

tích tốt các vấn đề về ứng suất và biến dạng thì Abaqus là phần mềm phù hợp, cho kết quả tin cậy. Sử dụng phần mềm Abaqus mô phỏng quá trình ép chảy ngược thép hợp kim ở trạng thái nóng dạng ống, mô tả sự ảnh hưởng tỷ số (d/D) và (D/H) (hình 2) đến sự phân bố ứng suất, biến dạng chi tiết, qua đó tìm được bộ thông số phù hợp (d/D) và (D/H) .

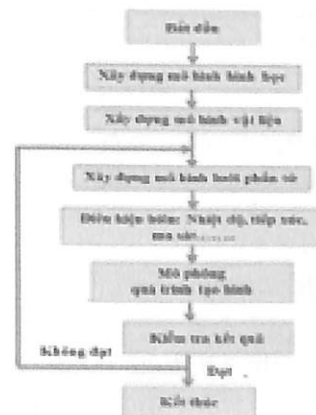


Hình 1. Phôi đầu vào



Hình 2. Sản phẩm sau ép chảy

2. XÂY DỰNG CÁC BƯỚC MÔ PHỎNG SỐ

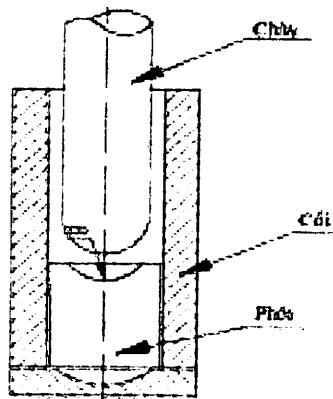


Hình 3. Sơ đồ các bước xây dựng bài toán mô phỏng số

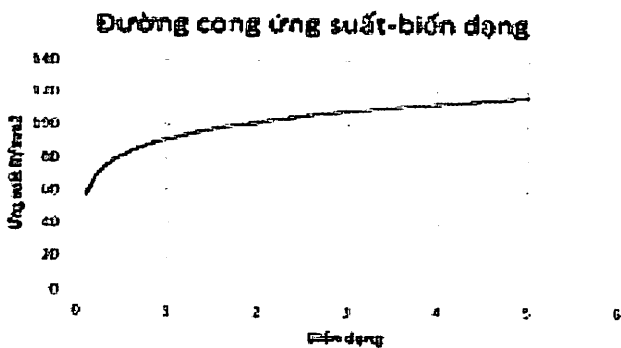
Các bước cơ bản của quá trình mô phỏng số được thực hiện theo sơ đồ như hình 3.

2.1. Mô hình hình học

Việc xây dựng mô hình hình học xuất phát từ yêu cầu chính xác về hình dạng và kích thước sản phẩm. Mô hình hình học bao gồm 3 đối tượng: Chày, cối và phôi; chày có đường kính $d = 86\text{mm}$, cối có đường kính $D = 106\text{mm}$, phôi có kích thước $\Phi 106\text{mm}$, gia công lỗ cầu $R50\text{mm}$, $b = 20\text{mm}$ như hình 4.



Hình 4. Mô hình hình học



Hình 5. Đường cong quan hệ giữa ứng suất và mức biến dạng của vật liệu 30CrMoNi5

2.2. Mô hình vật liệu

Mô hình vật liệu đóng vai trò quan trọng trong quá trình mô phỏng số, khi mô phỏng mô hình vật liệu được xây dựng theo điều kiện sẽ tiến hành trên thực tế, mô hình đó

mô tả sự phụ thuộc các đặc tính vật liệu vào quá trình biến dạng. Khi tiến hành ép chảy ngược thép 30X3MΦ (theo ГОСТ 4543-71) ở trạng thái nóng, ta cần phải xây dựng được biểu đồ quan hệ giữa ứng suất và biến dạng ở trạng thái đó. Do tính chất vật liệu ở nhiệt độ cao của các dòng vật liệu tương tự nhau có tính chất tương đương, ta có thể tham khảo và sử dụng các mô hình đó trong phạm vi cho phép. Vì vậy, gần nhất với mác vật liệu 30X3MΦ, ta sử dụng biểu đồ đường cong ứng suất- biến dạng của vật liệu 30CrMoNi5 (theo DIN) [4], [5], [6] mô phỏng bài toán này như trên hình 5. Vật liệu làm khuôn ép chảy và chày được coi như cứng tuyệt đối trong quá trình mô phỏng [6].

2.3. Mô hình lưới phần tử

Trong bài toán này đã chọn kiểu phần tử C3D8R [6]. Đây là phần tử khối, 8 nút cho phép tính toán ứng suất, biến dạng, chuyển vị... Của từng nút nên đáp ứng được với mục đích của bài toán mô phỏng đặt ra. Hai bề mặt tiếp xúc trượt lên nhau sử dụng hàm Penalty và có sự xuất hiện của ma sát tiếp xúc [6].

2.4. Xây dựng các điều kiện biên

Sử dụng chất bôi trơn là bột graphite và dầu [7],[8], hệ số ma sát $\mu = 0.5$ [1],[9], hệ số Poisson $\nu = 0.283$, mô đun đàn hồi $E = 1.35e^{11}$, [5]. Nhiệt độ ép: 1200°C , [9] coi như không có sự giảm nhiệt của phôi trong quá trình biến dạng.

3. KHẢO SÁT

Chi tiết sau khi ép chảy có mức độ biến mỏng thành phụ thuộc vào tỷ số d/D , qua đó ta chọn miền khảo sát của $d/D = 0.77; 0.81; 0.85; 0.89; 0.93$ [10], chiều cao sản phẩm phụ thuộc vào tỷ số H/D , ta tiến hành khảo sát các trường

hợp $H/D = 2.4, 2.6, 2.8, 3.0, 3.2, 3.4, 3.6, 3.8, 4.0, 4.2, 4.4, 4.6, 4.8$. Tuy nhiên, chia làm 2 khoảng để khảo sát I ($2.4 \leq H/D \leq 3.6$) và II ($3.8 \leq H/D \leq 4.8$), chọn $D = D_0 = 106\text{mm}$ không đổi trong suốt quá trình khảo sát.

Bảng 1. Bảng thông số thực hiện mô phỏng khoảng I ($d/D = 0.77 \div 0.93; H/D = 2.4 \div 3.6$)

STT	d/D	H/D	Thông số hình học	
			d (mm)	H (mm)
1	0.77	2.40	82	254.4
2	0.77	2.60	82	275.6
3	0.7	2.80	82	296.8
4	0.77	3.00	82	318
5	0.77	3.20	82	339.2
6	0.77	3.4	82	260.4
7	0.77	3.60	82	381.6
8	0.81	2.40	86	254.4
9	0.81	2.6	86	275.6
10	0.81	2.80	86	296.8
11	0.81	3.00	86	318
12	0.81	3.20	86	339.2
13	0.81	3.40	86	260.4
14	0.81	3.60	86	381.6
15	0.85	2.40	90	254.4
16	0.85	2.60	90	275.6
17	0.85	2.80	90	296.8
18	0.85	3.00	90	318
19	0.85	3.20	90	339.2
20	0.85	3.40	90	260.4
21	0.85	3.60	90	381.6
22	0.89	2.40	94	254.4
23	0.89	2.60	94	275.6
24	0.89	2.80	94	296.8
25	0.89	3.00	94	318
26	0.89	3.20	94	339.2

27	0.89	3.40	94	260.4
28	0.89	3.60	94	381.6
29	0.93	2.40	98	254.4
30	0.93	2.60	98	275.6
31	0.93	2.80	98	296.8
32	0.93	3.00	98	318
33	0.93	3.20	98	339.2
34	0.93	3.40	98	260.4
35	0.93	3.60	98	381.6

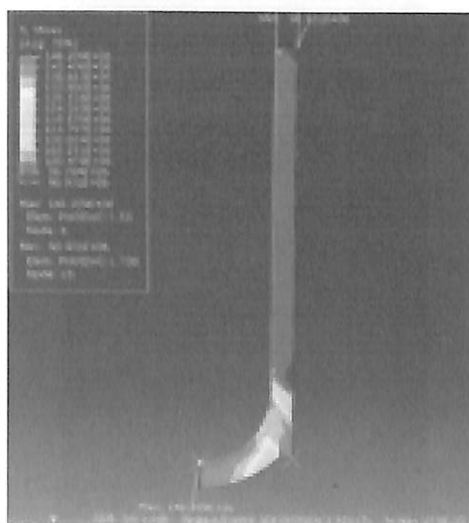
4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

4.1. Kết quả mô phỏng và thảo luận các trường hợp trong khoảng I

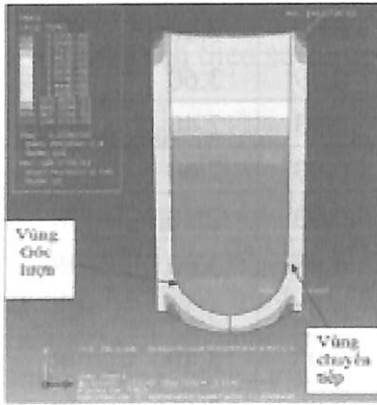
4.1.1. Kết quả mô phỏng

Sau khi thực hiện mô phỏng với số liệu như bảng 1 đưa ra một số trường hợp tiêu biểu, cụ thể như sau:

- Trường hợp 1: Kết quả mô phỏng với $d/D = 0.77; 0.81$.

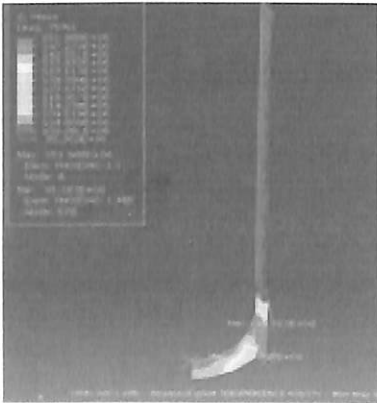


Hình 6. Sự phân bố ứng suất ($d/D = 0.77; H/D = 2.4$)

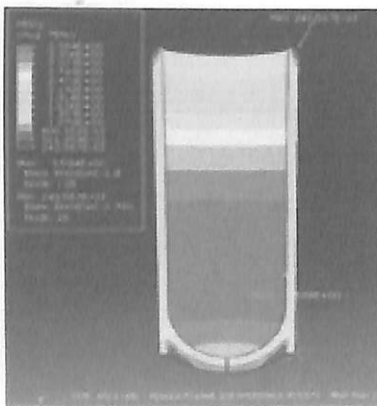


Hình 7. Sự phân bố mức độ biến dạng
($d/D = 0.77$; $H/D = 2.4$)

- Trường hợp 2: Kết quả mô phỏng với $d/D = 0.85$.

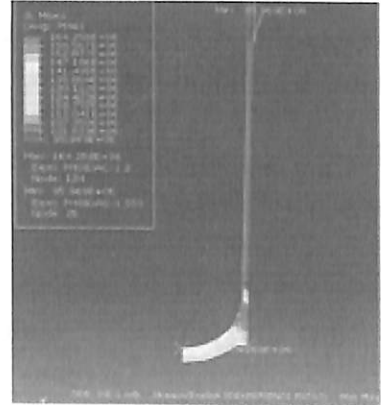


Hình 8. Sự phân bố ứng suất
($d/D = 0.85$; $H/D = 3.0$)

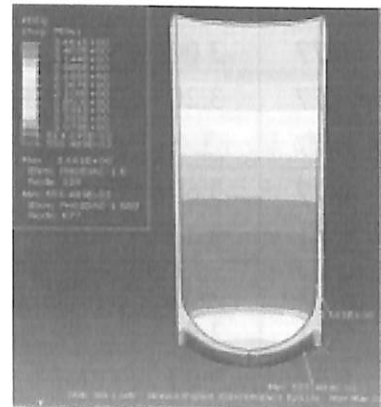


Hình 9. Sự phân bố mức độ biến dạng
($d/D = 0.85$; $H/D = 3.0$)

- Trường hợp 3: Kết quả mô phỏng với $d/D = 0.89$; 0.93 .



Hình 10. Sự phân bố ứng suất
($d/D = 0.93$; $H/D = 3.20$)



Hình 11. Sự phân bố mức độ biến dạng
($d/D = 0.93$; $H/D = 3.20$)

4.1.2. Thảo luận kết quả mô phỏng các trường hợp trong khoảng I

- Khi mức độ biến mỏng thành nhỏ: Xét cho trường hợp $d/D = (0.77 \div 0.81)$, sự phân bố ứng suất và biến dạng được thể hiện trên hình 6 và hình 7: Trên hình 6, không có sự tập trung ứng suất, ứng suất lớn nhất phân bố trên một diện tích rộng tại vùng đáy chi tiết do vùng này trực tiếp chịu tải trọng của chày ép, giảm dần qua vùng chuyển tiếp của phôi là vùng giao tuyến giữa phần cầu với phần trụ của chi tiết và giảm đến giá trị nhỏ nhất trên miệng của chi tiết, nguyên nhân do vùng này chỉ chịu tác dụng

của lực ma sát giữa phôi với cối và với chày. Sự phân bố này phù hợp với quy luật của sự phân bố ứng suất [2]. Mức độ biến dạng phân bố như hình 7, lớn nhất tại vùng chuyển tiếp là vùng có hiện tượng trượt, xô lệch mạng lưới tinh thể kim loại nhiều nhất, giảm dần theo chiều dài thành ống và đạt giá nhỏ nhất trên miệng ống, điều này phù hợp với quá trình biến dạng trong ép chảy ngược [2]. Vì vậy, trường hợp $d/D = (0.77 \div 0.81)$ phù hợp cho quá trình ép chảy ngược.

- Khi mức độ biến mỏng thành tăng dần: Xét cho trường hợp $d/D = 0.85$, sự phân bố ứng suất được thể hiện trên hình 8: Qua quan sát thấy có sự phân bố lại vùng ứng suất lớn nhất, ứng suất lớn nhất dịch chuyển dần từ đáy phôi lên vùng chuyển tiếp và đạt cực đại tại vùng này, tuy nhiên, sự phân bố ứng suất vẫn trên một diện tích rộng chưa có hiện tượng “tập trung ứng suất”. Mức độ biến dạng tương đương lớn nhất đã có hiện tượng dịch chuyển qua vùng chuyển tiếp như hình 9, điều này có thể gây ra hiện tượng mất ổn định và phá hủy phôi trong quá trình ép chảy.

- Khi mức độ biến mỏng thành tiếp tục tăng lên: Xét cho trường hợp $d/D = (0.89 \div 0.93)$, sự phân bố ứng suất được thể hiện trên hình 10 quan sát nhận thấy bắt đầu xuất hiện vùng “ứng suất tập trung”, có cường độ lớn hầu như chỉ tập trung tại vùng chuyển tiếp. Trường hợp này, ứng suất tập trung có diện tích rất nhỏ, phân bố xuyên suốt chiều dày thành chi tiết. Điều này sinh ra khuyết tật, gây phế phẩm đứt ngang chi tiết theo chu vi của ống cho nguyên công ép chảy hoặc dập vuốt tiếp theo. Mức độ biến dạng phân bố lớn nhất ở vùng chuyển tiếp và nhỏ dần xuống vùng đáy chi tiết điều này không phù hợp với quy luật [2]. Với kết quả này, không được phép tiến hành ép chảy ngược tại các vùng có giá trị $d/D \geq 0.89$.

Từ kết quả mô phỏng số và các nhận xét trên, đã chọn được miền thích hợp của tỷ số

d/D để tiến hành ép chảy ngược là $d/D = (0.77 \div 0.81)$ và miền có khả năng thực hiện ép chảy $d/D = 0.85$. Lúc này, bài toán tìm miền giới hạn cho tỷ số d/D phù hợp đã được xác định. Cần tìm miền giới hạn cho tỷ số H/D bằng việc khảo sát tỷ số $d/D = (0.77 \div 0.85)$ và $H/D = (3.8 \div 4.8)$, bằng thực hiện mô phỏng với các thông số trong bảng 2.

4.2. Kết quả mô phỏng và thảo luận các trường hợp trong khoảng II

Từ việc khảo sát $d/D = 0.77 \div 0.85$ và $H/D = 3.8 \div 4.8$, ta xây dựng được bảng thông số thực hiện mô phỏng như như bảng 2.

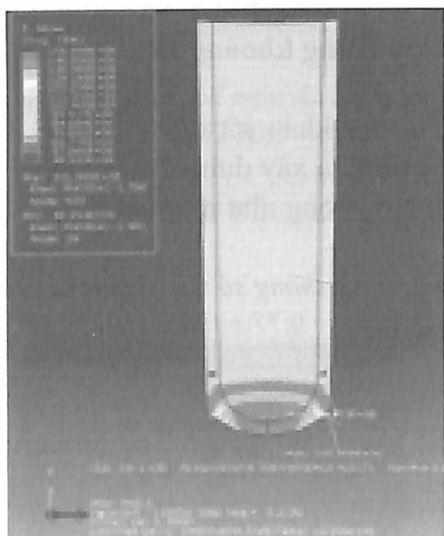
Bảng 2. Bảng thông số thực hiện mô phỏng khoảng II ($d/D = 0.77 \div 0.85$; $H/D = 3.8 \div 4.8$)

STT	d/D	H/D	Thông số hình học	
			d (mm)	H (mm)
1	0.77	3.80	82	402.8
2	0.77	4.00	82	424
3	0.77	4.20	82	445.2
4	0.77	4.40	82	466.4
5	0.77	4.60	82	487.6
6	0.77	4.80	82	508.8
7	0.81	3.80	86	402.8
8	0.81	4.00	86	424
9	0.81	4.20	86	445.2
10	0.81	4.40	86	466.4
11	0.81	4.60	86	487.6
12	0.81	4.80	86	508.8
13	0.85	3.80	90	402.8
14	0.85	4.00	90	424
15	0.85	4.20	90	445.2
16	0.85	4.40	90	466.4
17	0.85	4.60	90	487.6
18	0.85	4.80	90	508.8

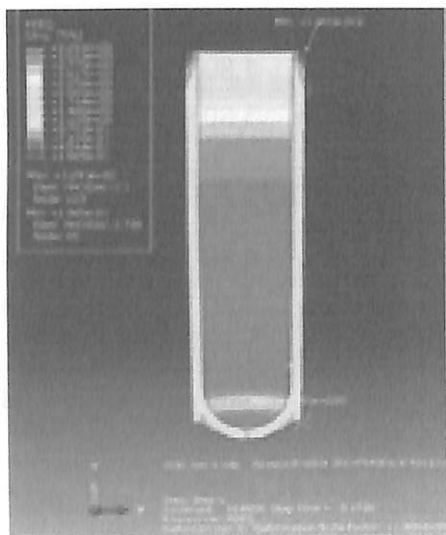
4.2.1. Kết quả mô phỏng

Sau khi thực hiện mô phỏng với số liệu như bảng 2 đưa ra một số trường hợp tiêu biểu, cụ thể như sau:

- Trường hợp 4: Kết quả mô phỏng với $d/D = 0.77, 0.81$.

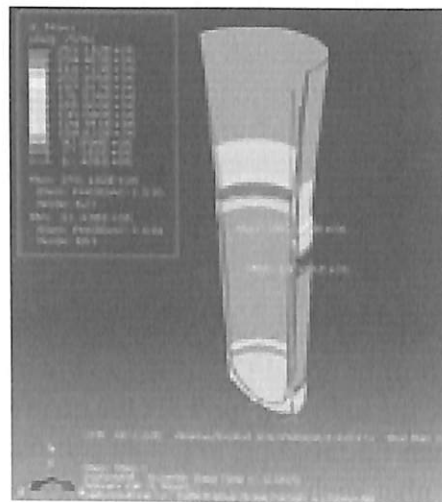


Hình 12. Sự phân bố ứng suất ($d/D = 0.77; H/D = 3.8$)

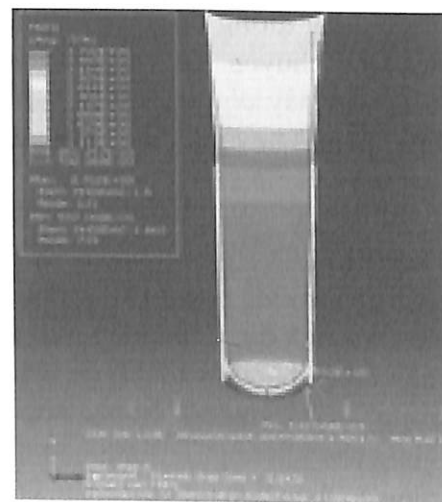


Hình 13. Sự phân bố mức độ biến dạng ($d/D = 0.77; H/D = 3.8$)

- Trường hợp 5: Kết quả mô phỏng với $d/D = 0.85$.



Hình 14. Sự phân bố ứng suất ($d/D = 0.85; H/D = 4.40$)



Hình 15. Sự phân bố mức độ biến dạng ($d/D = 0.85; H/D = 4.40$)

4.2.2. Thảo luận kết quả mô phỏng các trường hợp trong khoảng II

+ Khi mức độ biến mỏng thành nhỏ: Xét cho trường hợp $d/D = (0.77 \div 0.81)$, sự phân bố ứng suất và biến dạng được thể hiện trên hình 12 và hình 13: Trên hình 12 cho thấy, có sự phân bố ứng suất bất thường, vùng có giá trị

ứng suất nhỏ nhất (vùng màu xanh) luôn luôn tồn tại ngay sát cạnh vùng có giá trị ứng suất lớn nhất. Vùng biến dạng lớn nhất dịch chuyển lên thành chi tiết (qua vùng chuyển tiếp), phân bố không theo quy luật như hình 13.

+ Khi tổng mức độ biến mỏng thành tăng: Xét cho trường hợp $d/D = 0.85$, ta có kết quả như sau: Sự phân bố ứng suất và biến dạng được thể hiện như trên hình 14 và hình 15 trường hợp này như phân tích kết quả mô phỏng trên (mục 4.1.2.b) chưa có hiện tượng “tập trung ứng suất”. Tuy nhiên, vùng ứng suất lớn nhất đã dịch chuyển lên thành của chi tiết và tại đây sinh ra hiện tượng phá hủy phôi. Đây là trường hợp phá hủy phôi theo chu vi của chi tiết trong quá trình ép chảy khi vùng ứng suất phân bố không theo quy luật [2]. Tương tự mức độ biến dạng phân bố không theo quy luật, miệng chi tiết lúc này không phải là vùng có biến dạng nhỏ nhất.

5. KẾT LUẬN

Để xác định được kích thước hợp lý của sản phẩm sau khi ép chảy ngược, ta đã xây dựng các bài toán mô phỏng trên phần mềm Abaqus, qua kết quả mô phỏng có các nhận xét như sau:

- Khi mô phỏng với mức độ biến mỏng thành nhỏ $d/D = (0.77 \div 0.81)$ sự phân bố ứng suất, biến dạng tuân theo qui luật, không có sự tập trung ứng suất phù hợp cho việc ép chảy với kích thước sản phẩm có $d/D \leq 0.81$ và $H/D < 3.8$.

- Khi mức độ biến mỏng ở mức $d/D = 0.85$, tuy chưa có sự tập trung ứng suất nhưng vùng ứng suất lớn nhất đã dịch chuyển lên thành ống bắt đầu có sự mất ổn định và gây ra hiện tượng phá hủy phôi.

- Với mức độ biến mỏng thành ở mức cao $d/D = (0.89 \div 0.93)$ bắt đầu xuất hiện ứng suất tập trung và vùng chết được mở rộng trên toàn bộ vùng đáy sát với bề mặt của phôi. Điều này cho thấy, ép với mức độ biến mỏng thành $d/D \geq 0.89$ là không hợp lý. ❖

Ngày nhận bài: **05/10/2018**

Ngày phản biện: **15/10/2018**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Phạm Văn Nghệ, Đinh Văn Phong, Nguyễn Mậu Đăng, Trần Văn Cửu, Nguyễn Trung Kiên, (2008); “*Công nghệ dập tạo hình khốt*”, NXB. Bách Khoa- Hà Nội.
- [2]. Nguyễn Minh Vũ, Nguyễn Tất Tiến, Nguyễn Đắc Trung (2009); “*Lý thuyết dập tạo hình*”, NXB. Bách Khoa - Hà Nội.
- [3]. R.O. Davidson “*Research and development of material*” Headquarters United States Army Materiel Command Washington, D.C 20315, 31 July 1964.
- [4]. HuShichao, ZhangHenghua, WuXiaochun, MinYong and XuLuoping (2011) “*Flow stress behaviors of 30X3MΦ steel during hot compression*” School of Matéria is Science and Engineering Shanghai University, Shanghai Metals.
- [5]. Dipl.-Ing. Jürgen Schemmel (2003), “*Beschreibung des Verformungs-, Festigkeits- und Versagensverhaltens von Komponenten im Kriechbereich unter instationärer Beanspruchung mit einem elastisch-viskoplastischen*” Von der Fakultät Maschinenbau der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung, Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart.
- [6]. K.Abrinia and S.Orangi, “Numerical study of backward extrusion process using finite element method” School of Mechanical Engineering, College of Engineering, University of Tehran, I.R.Iran (2010).
- [7]. Taylan Altan, ERC/NSM, Ohio State University Gracious Ngaile, North Carolina State University, Gangshu Shen, Ladish Company (2005) “*Cold and Hot forging Fundamentals and Applications*” ASM International@ Materials Park, OH 44073-0002.
- [8]. Phạm Văn Nghệ, Nguyễn Như Huỳnh (2005); “*Ma sát và bôi trơn trong gia công áp lực*”, NXB. Đại học Quốc gia Hà Nội.
- [9]. Nguyễn Đắc Trung, Lê Thái Hùng, Nguyễn Như Huỳnh, Nguyễn Trung Kiên (2011); “*Mô phỏng số quá trình biến dạng*”, NXB. Bách khoa - Hà Nội.
- [10]. Lê Trung Kiên, Lê Gia Bảo (2016); “*Thiết kế và chế tạo khuôn dập*”, NXB. Bách Khoa-Hà Nội.