



## ỨNG DỤNG MÔ PHÒNG SỐ NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH ĐẬP NÓNG CHẾ TẠO BÁNH RĂNG TỪ PHÔI ỚNG

Phan Thị Hà Linh<sup>1,2</sup>, Nguyễn Đắc Trung<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên  
<sup>2</sup> Viện Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 18/04/2019

Ngày phân biện đánh giá và sửa chữa: 20/05/2019

Ngày bài báo được duyệt đăng: 03/06/2019

### Tóm tắt:

Hiện nay, nhiều loại bánh răng trong các bộ truyền động được chế tạo bằng phương pháp truyền thống như đập khối từ phôi đặc, sau đó gia công cắt gọt. Phương pháp này thường gây lãng phí vật liệu đáng kể do phải cắt bỏ đi một lượng dư gia công lớn khoảng trên 30%. Để tiết kiệm vật liệu, nâng cao hiệu quả sản xuất, phôi dạng ống cho quá trình đập khối là một lựa chọn thích hợp. Tuy nhiên, việc đập khối từ phôi ống cần được tính toán kỹ càng để tránh phôi bị mất ổn định và hình thành khuyết tật trong quá trình tạo hình. Trong bài báo này phương pháp mô phỏng số được ứng dụng để phân tích quá trình đập nóng bánh răng từ phôi ống trong khuôn kín. Dòng vật liệu, nguy cơ phá hủy, biến dạng cũng như ứng suất đã được dự đoán. Kết quả cho thấy có thể đập thành công bánh răng bằng phương pháp đập nóng trong khuôn kín từ phôi ống.

**Từ khóa:** Đập khối, Đập nóng, Mô phỏng số quá trình đập tạo hình, Bánh răng, Khuyết tật sản phẩm đập khối.

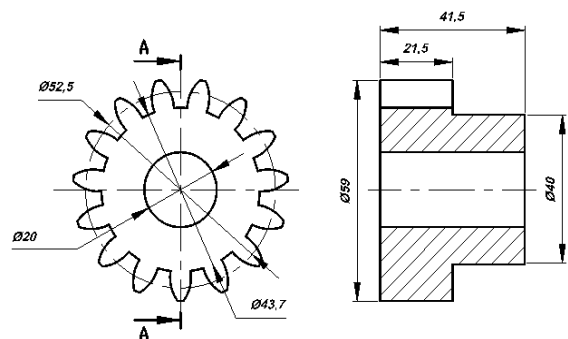
### 1. Đặt vấn đề

Bánh răng là một chi tiết máy phổ biến dùng để truyền lực và chuyển động giữa các trục. Truyền động bánh răng được dùng rất rộng rãi bởi vì chúng có những ưu điểm như khả năng truyền lực lớn, đảm bảo tỷ số truyền ổn định, hệ số có ích lớn (hiệu suất cao) và truyền động êm. Bánh răng có rất nhiều kiểu khác nhau, nhưng được sử dụng khá phổ biến trong các bộ truyền động là bánh răng trục rỗng (Hình 1). Do yêu cầu làm việc nên bánh răng phải chịu được tải trọng va đập, rung động, mô men xoắn lớn, đòi hỏi vật liệu có độ bền cao nên chúng hầu như không chế tạo bằng phương pháp đúc mà thường được chế tạo bằng phương pháp đập khối, sau đó gia công cắt gọt để đảm bảo độ chính xác lắp ghép [1,2].

Các chi tiết bánh răng trục rỗng thường rỗng, có bậc và vai nên nếu đập khối từ phôi đặc để tạo hình chi tiết như cách làm truyền thống sẽ dẫn đến lãng phí vật liệu khi gia công cắt gọt, đặc biệt là khoan lỗ rỗng. Hiệu suất sử dụng vật liệu chỉ đạt 60-65%. Hơn nữa, đập khối từ phôi đặc cần lực lớn, phôi phải biến dạng trên toàn bộ thể tích sẽ tiêu hao năng lượng của máy lớn cũng như tuổi thọ của khuôn giảm. Một trong những hướng nghiên cứu mới nhằm tiết kiệm năng lượng, thời gian tạo hình cũng như giảm thiểu tiêu hao vật liệu phôi đã được đề xuất và triển khai thực hiện là đập khối từ phôi ống [3].

Bài báo này nghiên cứu đề xuất phương án công nghệ đập nóng chế tạo chi tiết bánh răng từ

phôi ống và ứng dụng mô phỏng số để xác định kích thước phôi, các thông số công nghệ, phân tích trạng thái ứng suất, biến dạng, dòng chảy vật liệu, quá trình điền đầy khuôn để nhận định về khả năng xuất hiện khuyết tật trong sản phẩm. Kết quả mô phỏng cũng cho phép xác định lực đập để từ đó người kỹ thuật lựa chọn thiết bị tạo hình phù hợp.



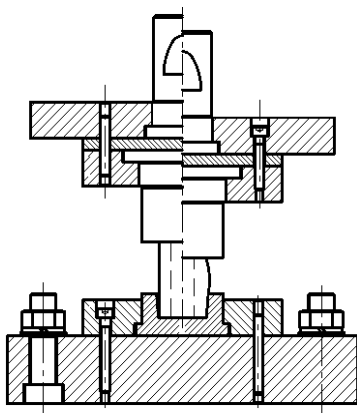
Hình 1. Bánh răng trục rỗng [4]

### 2. Nghiên cứu công nghệ đập nóng bánh răng từ phôi ống

Bánh răng như trên Hình 1 có đặc điểm rỗng giữa, phần đầu có đường kính lớn hơn phần đuôi. Như vậy, nếu áp dụng phương pháp đập trong khuôn kín quá trình công nghệ sẽ đơn giản chỉ cần 1 nguyên công. Tuy nhiên việc tính toán cần rất chính xác để tránh khuyết tật gập hình thành do quá trình tạo hình với mức độ biến dạng lớn [5].

Trong trường hợp chi tiết bánh răng này, có thể lựa chọn phương án tạo hình qua 2 nguyên công; nguyên công đầu tiên là chôn cục bộ để tăng kích thước phần bậc và nguyên công thứ 2 là dập khối ở trạng thái nóng trong khuôn kín để tạo hình bánh răng.

Sơ đồ chôn cục bộ (chôn đầu) được trình bày trên Hình 2. Phôi dùng cho nguyên công chôn đầu được xác định dựa trên định luật thể tích không đổi. Như vậy, phôi dạng ống có kích thước đường kính ngoài 40 mm, đường kính trong 20 mm và chiều cao là 60 mm. Chi tiết được chế tạo từ vật liệu thép C45. Các thông số công nghệ đầu vào bao gồm: Nhiệt độ nung phôi 1150 °C, hành trình đầu trượt từ khi đầu chày tiếp xúc với phôi cho đến khi đạt là 7 mm.

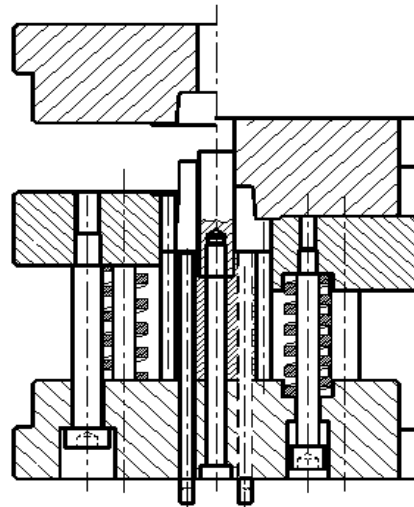


Hình 2. Nguyên công chôn cục bộ

Nguyên công dập khối trong khuôn kín tạo hình bánh răng được trình bày trên Hình 3. Phôi dành cho nguyên công này là sản phẩm của nguyên công chôn cục bộ. Quá trình dập khối được tiến hành như sau: Phôi trung gian (được nung tới 1150 °C) đặt trong lòng khuôn di động giữa trục định tâm tỳ trên lõi khuôn. Lòng khuôn liên kết với đế khuôn qua hệ thống bu lông treo và lò xo. Đế khuôn được bắt lên bàn máy nhờ tấm kẹp. Khuôn trên (chày) được lắp với đầu trượt và thực hiện quá trình dập tạo hình. Khi chày đi xuống, tác dụng vào lòng khuôn, cả hai đi xuống cùng hành trình (lòng khuôn trượt trên lõi khuôn) và phôi sẽ bị ép chôn đầu phía dưới, biến dạng phình to dần và điền đầy vào lòng khuôn dưới theo hành trình đi xuống của chày. Khi chày, lòng khuôn thực hiện hết hành trình 15 mm kể từ vị trí ban đầu tiếp xúc với mặt đầu của phôi, quá trình tạo hình chi tiết sẽ kết thúc. Khuôn trên chuyển động khứ hồi, lòng khuôn trở lại vị trí ban đầu, sản phẩm được đẩy ra khỏi lòng khuôn nhờ hệ thống chốt đẩy. Sản phẩm được lấy ra kết thúc quá trình dập.

Để xác định được lực dập và dự đoán khả năng xảy ra mất ổn định, hình thành khuyết tật gập

trong sản phẩm có thể áp dụng mô phỏng số quá trình tạo hình.



Hình 3. Nguyên công dập khối trong khuôn kín

### 3. Mô phỏng số quá trình dập tạo hình bánh răng từ phôi ống

#### 3.1. Các bước mô phỏng bài toán tạo hình trong Deform 3D

Để mô phỏng quá trình dập khối chi tiết khớp bánh răng trong khuôn kín ở trạng thái nóng, có thể sử dụng phần mềm Deform 3D.

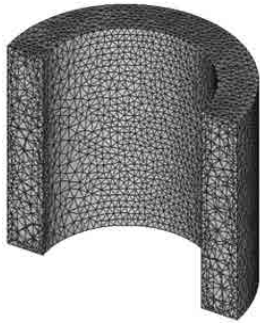
Các bước tiến hành mô phỏng số được trình bày trên Hình 4.



Hình 4. Các bước thực hiện bài toán mô phỏng [6]

Mô hình hình học của phôi ống được xây dựng dựa trên kích thước phôi đã được xác định khi tính toán công nghệ. Mô hình của khuôn được thiết kế, xây dựng dựa trên kích thước, hình dạng của sản phẩm bánh răng.

Để đảm bảo độ chính xác kết quả mô phỏng, phôi được chia 80.000 phần tử (Hình 5).



Hình 5. Lưới phần tử của phôi

Điều kiện biên của bài toán ở trạng thái nóng được xác định như sau:

- Đường cong chảy của vật liệu C45 phụ thuộc vào nhiệt độ (Hình 6). Các thông số vật liệu khác như mô đun đàn hồi E, hệ số poisson, hệ số giãn nở nhiệt... được lấy ra từ thư viện vật liệu trong phần mềm Deform 3D.

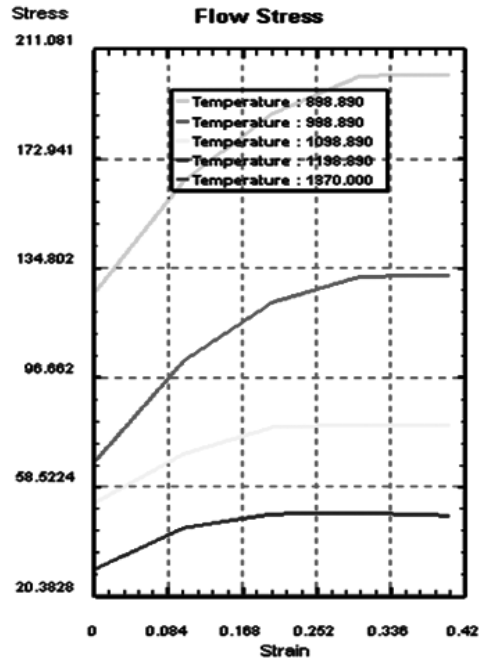
- Nhiệt độ ban đầu của khuôn bằng nhiệt độ của môi trường: 20 °C

- Nhiệt độ ban đầu của phôi: 1150 °C

- Chuyển vị của chày: 7 mm và 15 mm ứng với từng nguyên công

Hệ số ma sát giữa phôi và lòng khuôn biến dạng ở trạng thái nóng: 0.4 [7]

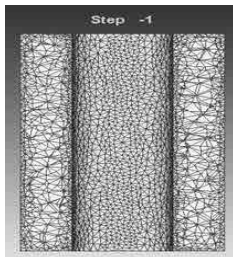
Bài toán được xây dựng cho trường hợp biến dạng ở trạng thái nóng, có kể đến ảnh hưởng của truyền nhiệt giữa phôi, dụng cụ gia công và môi trường. Quá trình mô phỏng số được thực hiện trên máy tính (Intel® Core™ i5-3360M CPU 3.20 GHz Ram 8GB) với thời gian tính toán là 6 giờ.



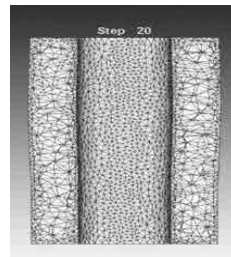
Hình 6. Quan hệ giữa ứng suất và biến dạng ở các nhiệt độ khác nhau của vật liệu C45(AISI-1045)

### 3.2. Phân tích kết quả mô phỏng

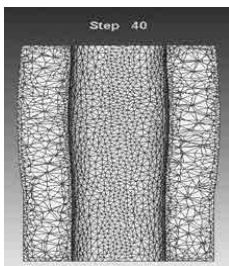
Kết quả mô phỏng của nguyên công chôn cục bộ (Hình 7) các bước tạo hình có thể thấy được phôi ban đầu bị chôn, tăng tiết diện ngang và có xu hướng bị phình tang chống ra ngoài tuy nhiên có thể thấy được mức độ xô lệch mạng không quá lớn. Giai đoạn chôn cục bộ kết thúc khi chày đi hết hành trình 7 mm (Step 72).



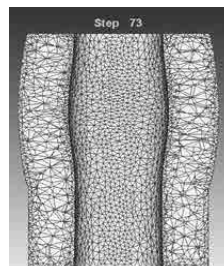
Biến dạng của phôi ở step 1



Biến dạng của phôi ở step 20



Biến dạng của phôi ở step 48

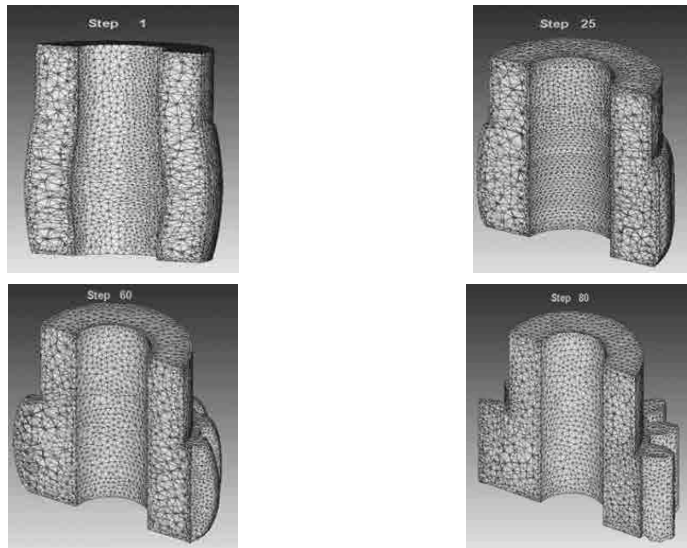


Biến dạng của phôi ở step 72

Hình 7. Quá trình biến dạng trong nguyên công chôn cục bộ

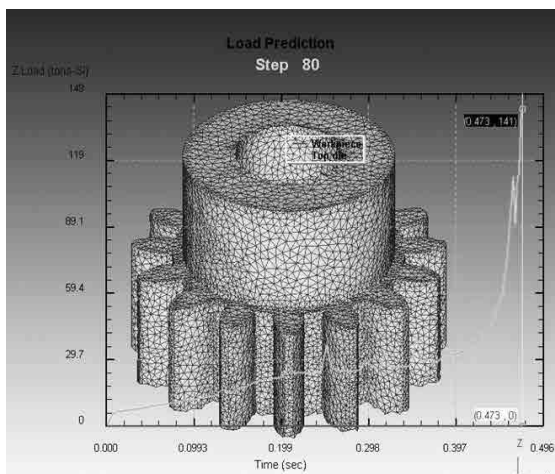
Kết quả mô phỏng các bước tạo hình bánh răng (Hình 8) có thể thấy được phôi trung gian tiếp tục bị chôn, phình to hơn. Giai đoạn chôn sẽ kết thúc khi phôi tiếp xúc với các mặt lòng khuôn và bắt đầu bị ép chảy cục bộ do kim loại biến dạng vào vùng tạo răng. Tại thời điểm đạt được 25% hành

trình phi đã bắt đầu tiếp xúc với cối kim loại bị đẩy ngược vào phía trong chạm vào phần định vị phôi từ đó tạo được biên dạng ống thẳng. Kết thúc giai đoạn ép chảy cục bộ, kim loại sẽ điền đầy vào các góc lượn để tạo ra hình dạng chính xác của chi tiết.



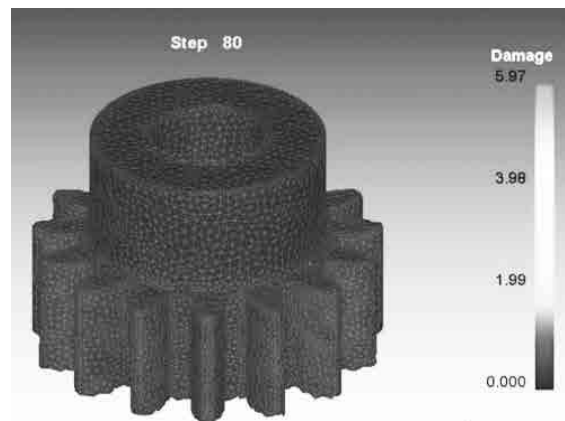
Hình 8. Quá trình biến dạng tạo hình chi tiết bánh răng

Với việc thiết kế khuôn tạo điều kiện thuận lợi cho biến dạng của vật liệu và dựa trên hình ảnh lưới biến dạng ở các giai đoạn tạo hình cũng như phân bố tốc độ biến dạng cho thấy phôi ống không bị mất ổn định và không xuất hiện khuyết tật gấp trên sản phẩm. Đồ thị quan hệ lực - thời gian trên Hình 9 hoàn toàn phù hợp với các giai đoạn biến dạng đó là lực tăng chậm trong giai đoạn chôn, tăng nhanh hơn trong giai đoạn ép chảy để tạo răng và tăng rất nhanh khi kim loại điền đầy vào các hốc tạo răng trong lòng khuôn. Lực lớn nhất ở cuối quá trình dập và đạt 141 tấn.



Hình 9. Biểu đồ lực tạo hình

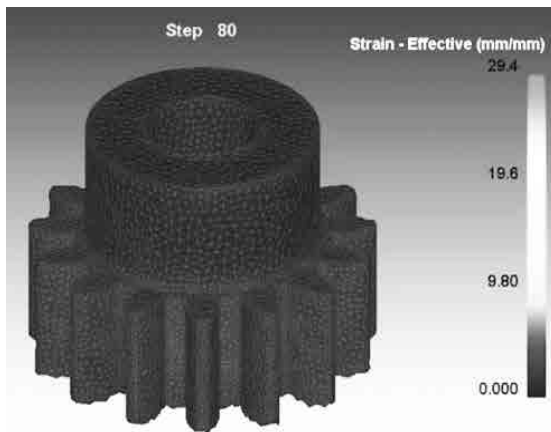
Kết quả phân tích hình ảnh lưới biến dạng ở thời điểm kết thúc mô phỏng số (Step 80), tức là kim loại đã biến dạng xong, cho thấy kim loại đã điền đầy vào các hốc của lòng khuôn. Như vậy, độ chính xác về biên dạng hình học của sản phẩm đảm bảo được yêu cầu.



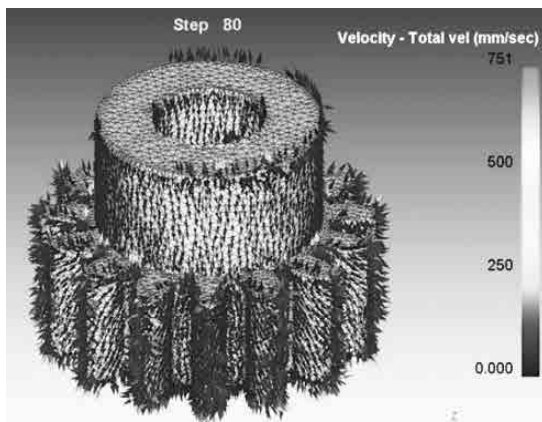
Hình 10. Phân bố nguy cơ phá hủy vật liệu

Hình 10 trình bày biểu đồ phân bố nguy cơ phá hủy trong vật liệu. Có thể thấy rằng, hầu như trên toàn bộ chi tiết không xuất hiện phá hủy hay khuyết tật bởi giá trị nguy cơ phá hủy rất thấp (nhỏ hơn 1). Chỉ có các vị trí góc lượn khuôn, vật liệu kim loại khó điền đầy, dòng chảy kim loại bị đổi hướng và sự thay đổi đột ngột của tốc độ chảy (Hình

10) sẽ dễ gây ra khuyết tật bề mặt. Tuy nhiên, với giá trị mức độ phá hủy vật liệu lớn nhất là 5.97 sẽ không gây ra khuyết tật tại các vị trí khó biến dạng.



Hình 11. Phân bố biến dạng

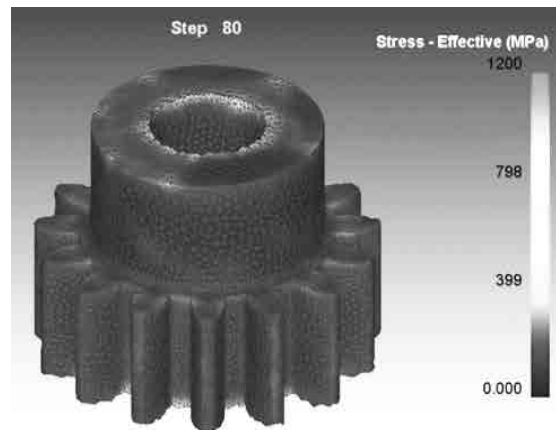


Hình 12. Phân bố dòng chảy vật liệu

Hình 11 và 12 biểu diễn phân bố biến dạng và ứng suất tương đương tương đương của chi tiết tại thời điểm kết thúc quá trình dập tạo hình. Giá trị ứng suất và biến dạng chỉ lớn tại các vị trí góc lượn cối. Dòng chảy của vật liệu tập trung chủ yếu ở phần răng của bánh răng nơi kim loại được ép xuống để điền đầy khuôn bánh răng.

Tuy nhiên, với mức độ biến dạng lớn nhất ở góc khuôn 29.4 mm tương ứng với ứng suất lớn nhất 1200 MPa khi tạo hình ở trạng thái nóng trong

khuôn kín sẽ không gây phá hủy đối với vật liệu thép C45.



Hình 13. Phân bố ứng suất

Qua phân tích một số kết quả mô phỏng số dựa trên hình ảnh phân bố dòng chảy, nguy cơ phá hủy vật liệu, ứng suất, biến dạng có thể cho ta đánh giá chất lượng sản phẩm đạt yêu cầu về mặt hình dạng và không xuất hiện khuyết tật khi dập khối từ phôi ống

#### 4. Kết luận

Việc nghiên cứu, lựa chọn công nghệ dập khối từ phôi ống để tạo hình bánh răng cho thấy hoàn toàn có thể tạo hình được các dạng chi tiết rỗng, có vai và tiết diện ngang thay đổi nhằm giảm chi phí sản xuất, tiết kiệm vật liệu.

Với việc áp dụng mô phỏng số để phân tích quá trình tạo hình cho ta xác định được các thông số công nghệ dập khối ở trạng thái nóng trong khuôn kín và hình dạng, kích thước phôi ống phù hợp đồng thời đánh giá được khả năng tạo hình cũng như xuất hiện khuyết tật trong sản phẩm như khuyết tật gập.

Sử dụng công nghệ tạo hình từ phôi ống khi chế tạo chi tiết khớp nối vấu đã tiết kiệm được tới 44%, vật liệu, đồng thời nâng cao cơ tính của sản phẩm thông qua tổ chức thớ kim loại liên tục. Những kết quả nghiên cứu mô phỏng này sẽ được áp dụng, triển khai trong thực tiễn sản xuất để minh chứng về hiệu quả kinh tế và kỹ thuật của phương pháp công nghệ dập khối từ phôi rỗng.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Minh Vũ, Nguyễn Tất Tiên, Nguyễn Đắc Trung, *Lý thuyết dập tạo hình*, NXB Bách khoa Hà Nội, 2009.
- [2]. Nguyễn Mậu Đăng, Phạm Văn Nghệ, Nguyễn Trung Kiên, Đinh Văn Phong, Trần Đức Cửu, *Công nghệ tạo hình khối*, NXB Bách khoa Hà Nội, 2008.
- [3]. Trịnh Minh Tân, Nguyễn Đắc Trung, Phan Thị Hà Linh, Nghiên cứu công nghệ chôn ống để chế

tạo chi tiết phục vụ công nghiệp quốc phòng. *Tuyển tập Hội nghị Khoa học toàn quốc Cơ học Vật rắn biến dạng lần thứ XII*, Đại học Duy Tân, TP Đà Nẵng, 7/8/2015. ISBN 978-604-913-459-3, tr. 1218-1223.

[4]. Nguyễn Văn Yên, *Giáo trình Chi tiết máy*, NXB Giao thông Vận tải, 2011.

[5]. Phan Thị Hà Linh, Nguyễn Đắc Trung, Xác định kích thước hình học phù hợp của phôi ống cho nguyên công chôn nhò mô phỏng số. *Hội nghị khoa học và công nghệ toàn quốc về cơ khí – động lực 2016*, Hà Nội, ngày 13 tháng 10 năm 2016. ISBN 978-604-95-0040-4, tr. 418-424.

[6]. Nguyễn Đắc Trung, Lê Thái Hùng, Nguyễn Như Huỳnh, Nguyễn Trung Kiên, *Mô phỏng số quá trình biến dạng*, NXB Bách khoa Hà Nội, 2011.

[7]. Boroomand, B., Parvizian, J. and Pishevar, A.R., “Contact Modeling in Forging Simulation”. *Journal of Materials Processing*, 2002, **Vol. 125/126**, pp. 583-587.

## APPLICATION OF NUMERICAL SIMULATION STUDY TO HOT FORMING PROCESS FOR MANUFACTURING OF SPUR GEAR BY USING TUBE WORKPIECE

### Abstract:

*Currently, most gear in the actuator are made by traditional methods such as bulk forming from block billet and then cutting for finishing. Such manufacturing methods often lead to material wastes due to cutting out of a large about 30% amount of excess processing. To save material and improve production efficiency, we can choose tube billet for bulk forming. However, when using bulk forming with tube billet, it should be calculated carefully to avoid being of instability and appearing of folding defects in workpiece. This article presents the research on forming process of the coupling detail using methods numerical simulation and based on obtained results to determine the suitable geometry of tube billet for the forming in closed die.*

**Keywords:** *Bulk foming, Hot foming, Numerical simulation of forming process, Spur gear, Defect in bulk formed product.*