

NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH TẠO RÃNH DẬP TRÊN VẬT LIỆU LƯỠNG KIM CHO BẠC
LÓT ĐỘNG CƠ Ô TÔLê Hoài Nam^{1*}, Phùng Đức Hải Anh², Nguyễn Hữu Sim³¹Trường Đại học Thành Đông²Trường Đại học Sao Đỏ³Trường Cao Đẳng Lý Thái Tổ

*Tác giả liên hệ: lenamdl2003@gmail.com

TÓM TẮT

Bài viết này đã tập trung vào việc mở rộng kiến thức về tạo hình kim loại khi vật liệu ban đầu là vật liệu kép, tức là có hai vật liệu có độ dày được ghép lại với nhau. Đầu tiên, đặc tính của cả hai vật liệu (nhôm và thép) được nghiên cứu riêng biệt để biết đặc tính đàn hồi của chúng; sau đó, hành vi của vật liệu lưỡng kim có thể được nghiên cứu. Một thiết kế thử nghiệm được thực hiện trên máy ép công nghiệp sử dụng biến dạng dập về chiều rộng và chiều sâu. Ngoài ra, hoạt động tạo hình này đã được mô phỏng bằng mã phần tử hữu hạn, với mẫu cụ thể trên vật liệu lưỡng kim. Mục đích của thiết kế thử nghiệm này là để hiểu vai trò của từng vật liệu và hiểu rõ hơn về hình dạng cuối cùng của bộ phận cũng như sự xuất hiện của các vết nứt hay không. Nghiên cứu này vừa mang tính thực nghiệm vừa mang tính số học và làm nổi bật đặc tính dẻo của vật liệu kép có nghĩa là thể hiện tính không đồng nhất ở quy mô vĩ mô.

Từ khóa: Biến dạng, đặc tính cơ học của vật liệu, lực kéo-nén, ứng suất vật liệu cơ điện tử, vật liệu kim loại.

STUDY OF GROOVE FORMING MODEL ON BIMETALLIC MATERIAL FOR
AUTOMOTIVE ENGINE BEARINGS

ABSTRACT

This article focuses on expanding knowledge in metal forming when the initial material is a composite material, consisting of two materials with different thicknesses joined together. First, the behaviour of both materials (aluminium and steel) is studied separately to know their elastoplastic behaviour; thus, the behaviour of the bimaterial can be studied. An experimental design is done on an industrial press using a punch variable in width and depth. Besides, this forming operation has been simulated with a finite element code, with the specific punch, on the bimaterial. The aim of this experimental design is to understand the part played by each material and to better understand the final geometry of the part and the appearance of cracks or not. This study is both experimental and numerical and brings highlighting on the plastic behaviour of a bimaterial that means showing heterogeneities at a macroscopic scale.

Keywords: Deformation, mechanical properties of materials, tensile-compressive forces, electromechanical material stresses, metallic materials.

Ngày nhận bài: 25/11/2024 Ngày nhận bài sửa: 05/02/2025 Ngày duyệt đăng bài: 17/02/2025

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Để cải thiện việc sản xuất bạc lót cho động cơ ô tô được làm bằng vật liệu kép, có thể sử

dụng việc tạo rãnh bằng cách tạo hình thay vì phay. Công nghệ này cho phép tăng năng suất nhưng có tác động quan trọng đến chất lượng

của các sản phẩm và cần có được độ chính xác cũng như kiến thức về sự tạo thành kim loại không đồng nhất bằng biến dạng dẻo.

Mục đích của công việc này là nghiên cứu vật liệu lưỡng kim trong quá trình tạo hình dẻo. Bước hình thành này được nghiên cứu cả theo cách thực nghiệm trên máy dập công nghiệp và theo mô phỏng số nhờ vào thử nghiệm thiết kế. Điều độc đáo trong nghiên cứu này là coi đó như bước đầu tiên hướng tới một hiểu biết về những gì xảy ra bên trong các vật liệu không đồng nhất, chẳng hạn như thép hai pha chẳng hạn. Thật vậy, thép hai pha (Мо́ско, W., et al. (2016) ngày nay là vật liệu đặc biệt phổ biến để sản xuất các bộ phận quan trọng. Những vật liệu này có cấu trúc đặc biệt không đồng nhất, có nghĩa là chúng có thể được coi là các cấu trúc phức hợp. Đó là sự tan chảy của các thuộc tính khác nhau, chẳng hạn như độ dẻo và độ cứng, mang lại các đặc tính cơ học vượt trội cho vật liệu này. Nó sẽ là ý tưởng tương tự với dải thép và AlSn được sử dụng trong nghiên cứu này.

Câu hỏi đặt ra ở đây là phải biết cấu trúc không đồng nhất có tác động như thế nào đến tính chất dẻo tổng thể của vật liệu, đặc biệt là trong quá trình hình thành (Eggertsen, P., & Mattiasson, K. 2011), cũng như khi bắt đầu định vị hoặc đàn hồi (Saenz de Argandoña, E., et al. 2017). Một nghiên cứu về đặc tính của vật liệu thông qua sự xuất hiện của các vết nứt sẽ dẫn đến việc xem xét tác động đến hành vi dẻo (Chen, Z., et al. 2016; Tabourot, L., et al. 2017). Ý tưởng sau đó là phát triển các mô hình trong đó sự không đồng nhất về vật chất có ảnh hưởng trực tiếp được xem xét để kết quả do mô phỏng số tạo ra sẽ chính xác hơn; nó đã được đã được kiểm tra trong nghiên cứu (Maati, A.,

et al. 2015). Trong bài này đầu tiên chúng tôi đã lựa chọn vật liệu nghiên cứu. Thứ hai là nghiên cứu thực nghiệm quá trình tạo hình và mô phỏng số của quá trình tạo hình. Thứ ba là đưa ra kết luận và quan điểm.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

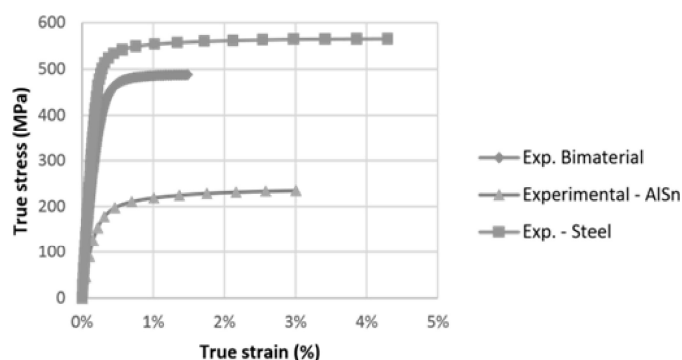
2.1. Đối tượng nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu: dải vật liệu chế tạo bạc lót trong động cơ ô tô.
- Sử dụng máy kéo nén vật liệu tại phòng thí nghiệm
- Sử dụng phần mềm Abaqus mô phỏng biến dạng của vật liệu.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- *Vật liệu nghiên cứu:* Vật liệu nghiên cứu là một dải lưỡng kim vật liệu (thép S45C và hợp kim nhôm 6061-T6) có chiều rộng 17 mm và chiều dày 2,6 mm với 0,6 mm AlSn và 2 mm thép. Sự hiện diện của AlSn nhằm mục đích giảm ma sát trên bộ phận cuối cùng và thép mang lại độ cứng và chi phí thấp. Các đặc tính cơ học và vật lý của từng vật liệu đã được thực hiện: thành phần hóa học, độ cứng, ảnh vi mô và thử nghiệm độ bền kéo.

Các thử nghiệm kéo đã đạt được trên thiết bị INSTRON (5569) với cảm biến tải trọng 50 kN với tốc độ áp đặt là 7 mm/phút. Các biến dạng được đo bằng máy đo độ giãn cũng như bằng phân tích hình ảnh kỹ thuật số (Vacher, P., và cộng sự, 1999). Các mẫu có một vật liệu duy nhất đã được cắt mà không có vật liệu khác ở khu vực trung tâm. Sau đó, các đường cong kéo đã thu được đối với riêng thép, riêng AlSn và vật liệu lưỡng kim (Hình 1).



Hình 1. Độ bền kéo của thép, AlSn và lưỡng vật liệu

Nguồn: Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả

Vì không thể thực hiện được các thử nghiệm độ bền kéo theo các hướng khác khi kích thước của dải (chiều rộng 17 mm), nên hoạt động của vật liệu sẽ được coi là đẳng hướng.

- Phương pháp nghiên cứu lý thuyết: Nghiên cứu các đặc tính của vật liệu như: Độ cứng, đường kính hạt vật liệu, thành phần hoá học tổng vật liệu, cơ học kỹ thuật và xây dựng mô phỏng sự biến dạng của vật liệu chế tạo bạc lót trong động cơ ô tô.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Mẫu thiết kế tạo hình

Để hiểu rõ đặc tính không đồng nhất của vật liệu kép trong quá trình tạo hình, nhà nghiên cứu đã thu thập các mẫu thử trên các dải của cả tấm vật liệu, thử nghiệm độ bền kéo để so sánh ứng suất, sự biến dạng trên toàn bộ các dải của tấm (Bảng 1) trên máy ép thử nghiệm. Chỉ có hai tham số có thể thay đổi: chiều rộng của đầu ép (từ 1,8 mm đến 2,8 mm với độ biến thiên có thể là 2 mm) và độ sâu của nó (từ 0,8 mm đến 1,8 mm với độ biến thiên có thể là 2 mm); tất cả các thông số khác của thử nghiệm thử nghiệm sẽ giữ nguyên.

Bảng 1. Mẫu thiết kế trong thí nghiệm cho máy ép thực nghiệm

Mẫu thử	Chiều rộng	Độ sâu	Nhân xét
L 18p12	1.8	1.2	
L 18p16	1.8	1.6	<u>Vết nứt</u>
L 22p12_1	2.2	1.2	
L 20p08	2	0.8	
L 20p18	2	1.8	
L 22p06	2.2	0.6	<u>Không vết nứt</u>
L 22p08	2.2	0.8	
L 22p12_2	2.2	1.2	
L 22p20	2.2	2	
L 26p08	2.6	0.8	
L 26p18	2.6	1.8	
L 26p08	2.8	0.8	
L 28p12	2.8	1.2	
L 28p16	2.8	1.6	
L 22p12_3	2.2	1.2	

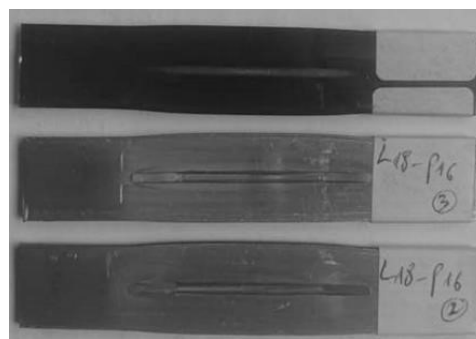
Nguồn: Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả

Mẫu thử thí nghiệm trên hình 2-a và thu được 3 mẫu có chiều rộng 1,8 mm và độ sâu 1,6 mm hiển thị trên hình 2-b. Vấn đề chính

trong quá trình tạo hình kim loại là sự xuất hiện các vết nứt trên mẫu ở mặt thép. (hiển thị trên hình 2-b).



(a) Mẫu dập trong tạo hình



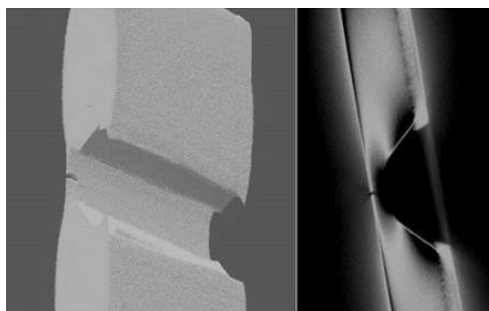
(b) Mẫu thử sau khi dập L18P16

Hình 2. Mẫu thử thí nghiệm

Nguồn: Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả

Sự dịch chuyển của vật liệu có thể được làm nổi bật bằng hình ảnh chụp cắt lớp (hình 3). Thấy rằng AlSn, ban đầu ở bề mặt trên của mẫu, biến mất hoàn toàn trong quá trình sự hình thành rãnh. Quan sát mẫu vật khi hình

thành rãnh thấy rằng, mặc dù mẫu có tiết diện hình chữ nhật, vật liệu bị biến dạng có hình chữ V. Một vết nứt cũng có thể nhìn thấy trên ảnh chụp cắt lớp bên phải ở phần dưới của phần gia công, tức là ở phía thép.



Hình 3. Ảnh chụp cắt lớp trên mẫu L18P16

Nguồn: Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả

3.2. Mô phỏng số hóa quá trình tạo hình

Hoạt động tạo hình tới hạn được mô phỏng bằng mã phần tử hữu hạn Abaqus / Explicit (Hình 4) sử dụng chế độ tính toán chính xác kép. Mẫu được mô tả bằng bề mặt cứng rời rạc, để được mô tả bằng bề mặt cứng phân tích và dải bằng bề mặt biến dạng. Tấm kim loại có chiều rộng 17 mm, độ dày 2,6 mm với 0,6 mm AlSn và 2 mm thép, là vật liệu được sử dụng trong thực nghiệm. Mẫu được chia lưới tinh xảo trên ¼ mảnh (áp đặt điều kiện đối xứng) với các phần tử thuộc loại C3D8R với 21 phần tử có chiều dày, 40 phần tử chiều rộng và 120 phần tử chiều dài.

Vật liệu được coi là đồng nhất và đẳng hướng. Trong phạm vi đàn hồi, hành vi của vật

liệu được mô hình hóa bằng mô đun Young và tỷ lệ Poisson. Đường cong tham chiếu giữa ứng suất chảy và ứng suất kéo cực đại có thể được mô tả bằng mô hình đàn hồi dẻo với tiêu chí dẻo Von Mises và độ cứng đẳng hướng theo định luật Hollomon. Đây là định luật lũy thừa liên hệ giữa biến dạng dẻo thực ϵ_p với ứng suất thực σ được cho bởi:

$$\sigma = K \epsilon_p^n \quad (1)$$

Trong đó K và n đã được xác định bằng thực nghiệm (Hình 1).

Tất cả các thông số đàn hồi của cả hai vật liệu được giới thiệu trong Abaqus được nêu trong Bảng 2.

Bảng 2. Thông số đàn hồi của 2 loại vật liệu nghiên cứu

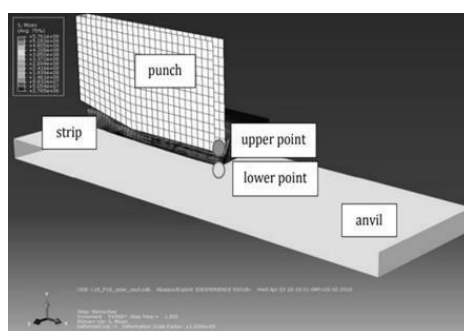
Vật liệu	Mô đun Young (MPa)	Ứng suất (MPa)	Mật độ (kg/m ³)	Hệ số cá	K (MPa)
Thép	216507	451	8010	0.3	589.6
Nhôm	69824	153	2700	0.3	269.5

Nguồn: Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả

Về điều kiện biên:

- Cái đe đã được cố định
- Độ dịch chuyển của chày phụ thuộc vào độ sâu của nó
- Hệ số ma sát là: AlSn - chày 0,01 và thép - đe 0,1

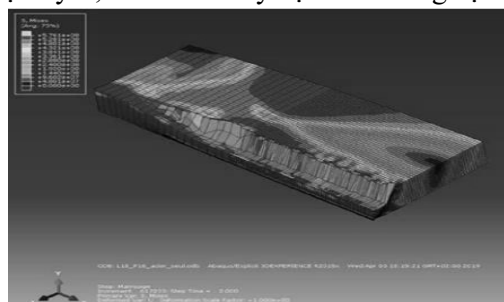
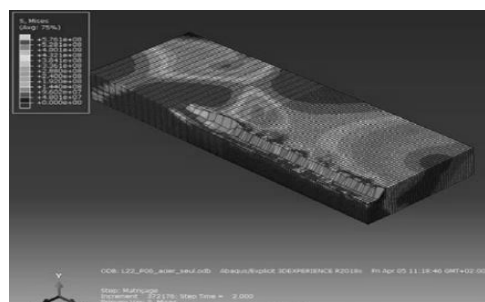
Bước đầu tiên (thời gian 0 đến 2 giây) tương ứng với bước hạ chày xuống và bước thứ hai (thời gian 2 giây đến 3 giây) tương ứng với sự đi lên của nó. Tổng quan về mô phỏng được đưa ra trong hình 4.

**Hình 4. Mô phỏng số hóa quá trình tạo hình trên mẫu L18P16**

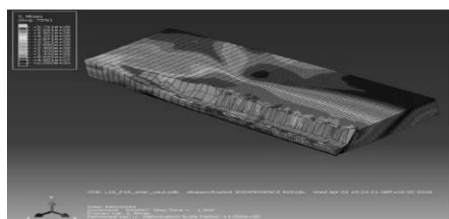
Nguồn: Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả

Hai trường hợp được nghiên cứu cụ thể hơn trong bài báo này: L18P16 và L22P06 lần lượt hiển thị và mặt thép không bị nứt. Ba cấu hình cũng đã được thử nghiệm: vật liệu lưỡng kim có cùng tỷ lệ với cấu hình thử nghiệm, riêng thép có độ dày 2,6 mm và riêng AlSn có độ dày 2,6 mm để thấy sự ảnh hưởng sự hiện

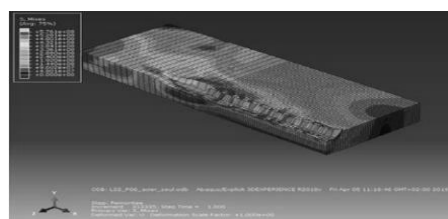
diện của vật liệu kép so với vật liệu đơn lẻ. Có thể quan sát tương đương Von Mises (Ứng suất tổng) nhấn mạnh vào 6 cấu hình tại 2 thời điểm mô phỏng số: ở cuối quá trình đi xuống của chày ($t = 2s$) và ở điểm cuối hướng lên của chày ($t = 3s$) trên (hình 5a, b) đến hình 7.

**(a) L18P16 – Riêng thép (2s)****(b) L22P06 – Riêng thép (2s)****Hình 5.1. Von Mises (Ứng suất tổng) của mẫu là thép**

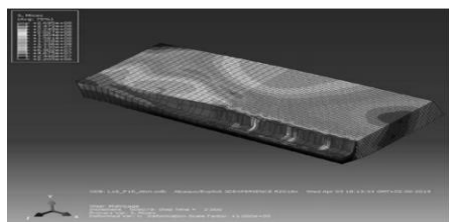
Nguồn: Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả



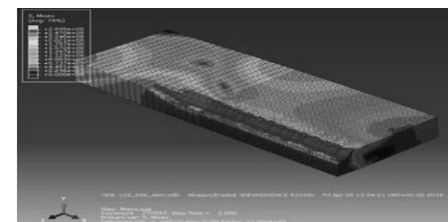
(a) L18P16 – Riêng thép (3s)



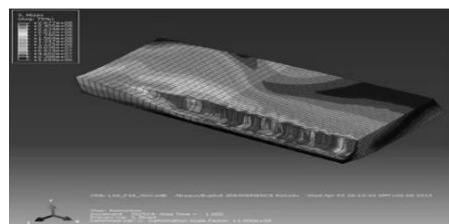
(b) L22P06 – Riêng thép (3s)

Hình 5.2. Von Mises (Ứng suất tổng) của mẫu là thép*Nguồn: Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả*

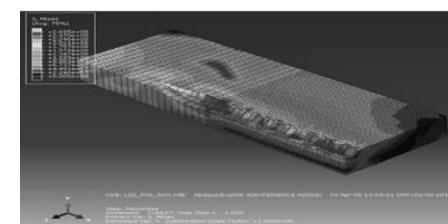
(a) L18P16 – Riêng nhôm (2s)



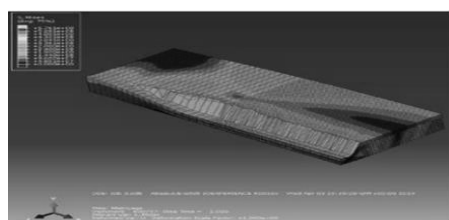
(b) L22P06 – Riêng nhôm (2s)



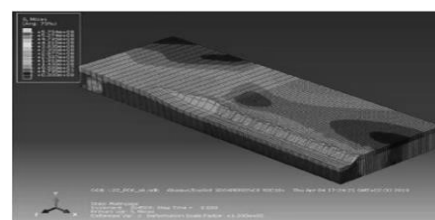
(c) L18P16 – Riêng nhôm (3s)



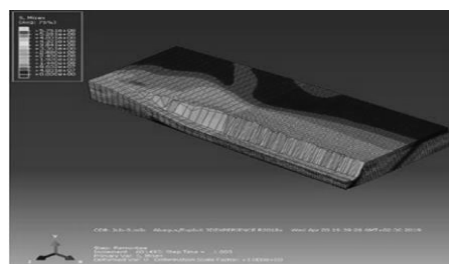
(d) L22P06 – Riêng nhôm (3s)

Hình 6. Von Mises (Ứng suất tổng) của mẫu là nhôm*Nguồn: Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả*

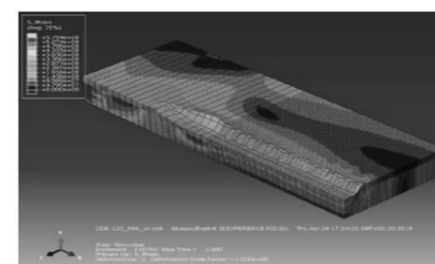
(a) L18P16 – vật liệu kép(2s)



(b) L22P06 – vật liệu kép (2s)



(c) L18P16 – vật liệu kép (3s)

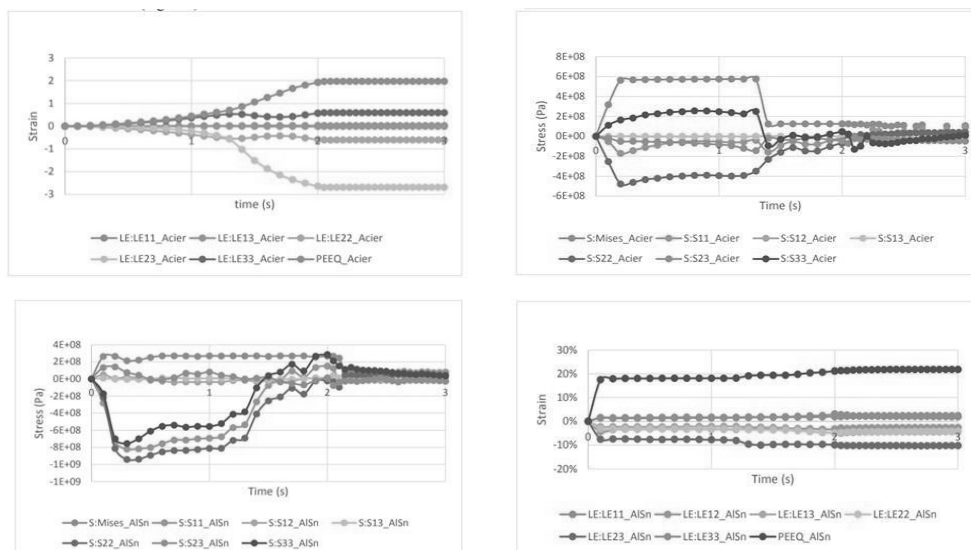


(d) L22P06 – vật liệu kép (3s)

Hình 7. Von Mises (ứng suất tổng) mẫu là vật liệu lưỡng kim*Nguồn: Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả*

Có thể thấy trạng thái ứng suất cao hơn trong quá trình mô phỏng rãnh sâu nhất (L18P16). Nó có thể cũng cần lưu ý rằng biến dạng tối đa xảy ra ở mặt bên dưới của mẫu.

Đối với mô phỏng L18P16 với vật liệu kép, thật thú vị khi xem xét những yêu cầu nào hiện diện trên các điểm trung tâm trên và dưới của mẫu và để xem sự tiến hóa theo thời gian của từng điểm thành phần ứng suất và biến dạng (Hình 8).

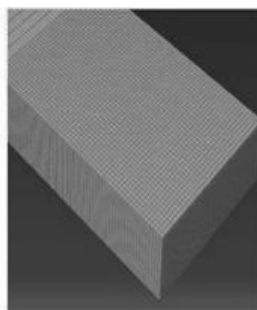
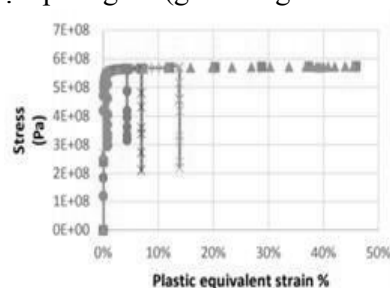


Hình 8. Diễn biến theo thời gian của ứng suất và biến dạng tại điểm trung tâm cao và thấp của mẫu trong quá trình hình thành vật liệu kép

Nguồn: Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả

Liên quan đến việc dự đoán sự xuất hiện của vết nứt, trong quá trình mô phỏng L18P16, đó là sự giải phóng điện của một số nguyên tố lên bề mặt thép của mẫu. Trong hình 9, nếu ta vẽ sơ đồ diễn biến của ứng suất von Mises tương đương là hàm của biến dạng dẻo tương đương, chúng ta có thể thấy điều đó trước. Kết thúc quá trình tạo hình bởi mẫu (khoảng $t = 1,5s$), các phần tử được phóng ra (giảm ứng

suất) trong khi các phần tử khác vẫn giữ nguyên trên đường cong tham chiếu. Điều này có nghĩa là đã xảy ra sự phát triển không đồng nhất của vật liệu (Furushima, T., et al. 2013); Tabourot, L., et al. 2014). Việc nghiên cứu và đề xuất tiêu chí để đếm các phần tử này từ mặt dưới đến mặt dự đoán vết nứt hay không của chi tiết trong quá trình tạo hình.



Hình 9. Sự phát triển của ứng suất Von Mises tương đương như là một hàm số của biến dạng dẻo đối với các điểm khác nhau của đường ở mặt dưới.

Nguồn: Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả

4. KẾT LUẬN

Nhóm tác giả đã sử dụng phần mềm Abaqus để mô phỏng sự biến dạng không đồng nhất của vật liệu kép có tính không đồng nhất cao. Kết quả cho thấy hiện tượng nứt xảy ra do sự hiện diện của các phần tử bị bong ra trên bề mặt thép, đồng thời mô phỏng số đã tái hiện khá chính xác thực tế. Để đảm bảo độ chính xác, chúng tôi đã thực hiện các biện pháp mô tả riêng biệt từng thành phần vật liệu.

Các nghiên cứu tiếp theo sẽ tập trung vào việc đánh giá vai trò của từng vật liệu thông qua việc thay đổi tỷ lệ và tính chất của chúng nhằm tối ưu hóa quá trình hình thành.

Nghiên cứu này đánh dấu bước khởi đầu quan trọng trong việc tiếp cận các vật liệu không đồng nhất và có thể mở rộng sang nghiên cứu các vật liệu phức tạp khác, chẳng hạn như thép hai pha, vật liệu composite trong các thang đo và ngữ cảnh nghiên cứu khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Chen, Z., Gandhi, U., Lee, J., & Wagoner, G. H. (2016). Variation and consistency of Young's modulus in steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 227, 227-243.
- Eggertsen, P., & Mattiasson, K. (2011). On the identification of kinematic hardening material parameters for accurate springback predictions. *International Journal of Material Forming*, 4(2), 103-120.
- Furushima, T., Tsunazaki, H., Nakayama, T., Manabe, K., & Alexandro, R. (2013). Prediction of surface roughening and necking behaviour for metal foils by inhomogeneous FE material modelling. *Key Engineering Materials*, 554(557), 169-173.
- Maati, A., Tabourot, L., Balland, P., Ouakdi, E. H., Vautrot, M., & Ksiksi, N. (2015). Constitutive modelling effect on the numerical prediction of springback due to a stretch-bending test applied on titanium T40 alloy. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 15, 836-846.
- Moćko, W., Grzywna, P., Kowalewski, Z. L., & Radziejewska, J. (2016). An influence of cyclic loading on the form of constitutive relationship for DP500 steel. *Materials and Design*, 103, 183-193.
- Argandoña, E. S., Galdos, L., Mendiguren, J., Otero, I., & Mugarra, E. (2017). U-drawing of Fortiform 1050 third generation steels: Numerical and experimental results. *Journal of Physics: Conference Series*, 896. *36th IDDRG Conference - Materials Modelling and Testing for Sheet Metal Forming*, Munich, Germany, 1- 8.
- Laurent, T., Pascale, B., Awa, S. N., Mathieu, V., Nesrine, K., & Ahmed, M. (2014). Numerical study of the impact of constitutive modelling on the evolution of necking in the case of a tensile test on C68 grade steel. *Key Engineering Materials*, 611(612), 521-528.
- Tabourot, L., Sène, N. A., Balland, P., Ksiksi, N., Charleux, L., & Issack, M. (2017). Comparative study of modelling efficiency regarding localization development. *AIP Conference Proceedings*, 1896(1), 160007, <http://dx.doi.org/10.1063/1.5008182>
- Vacher, P., Dumoulin, S., Morestin, F. & Touchal, M. S. (1999). Bidimensional strain measurement using digital images. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 213(8), 811-817.