



NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CHẤT BÔI TRƠN ĐẾN QUY TRÌNH CÔNG NGHỆ DẬP NGUỘI ĐÌNH TÁN LÀM TỪ HỢP KIM CHỊU NHIỆT

STUDY ON THE EFFECT OF LUBRICANTS ON THE COLD HEADING PROCESS OF HEAT-RESISTANT ALLOY RIVETS

Vũ Trọng Bách^{1*}, Đào Ngọc Điệp², Phan Lâm Hải³

¹Trường Đại học Trần Đại Nghĩa

²Trường Đại học Cửu Long

³Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

DOI: <https://doi.org/10.65934/mkusj.2026.44.1246>

*Email: hcktbach@tdnu.edu.vn

Ngày nhận bài: 01/04/2026

Ngày phản biện: 20/04/2026

Ngày duyệt bài: 28/08/2026

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của chất bôi trơn đến quy trình dập nguội đình tán làm từ hợp kim chịu nhiệt CrNi60WTi. Mục tiêu nghiên cứu là đánh giá tác động của điều kiện ma sát đến lực biến dạng và trạng thái ứng suất của dụng cụ trong quá trình tạo hình. Nghiên cứu được thực hiện bằng cách kết hợp thực nghiệm dập trên máy LFM250 ở nhiệt độ phòng với mô phỏng số bằng phần mềm QForm 10.3.3. Vật liệu mô phỏng được xây dựng trên cơ sở dữ liệu thực nghiệm nén mẫu và mô tả bằng phương trình Hensel–Spittel. Quá trình dập được khảo sát trong các trường hợp không bôi trơn, sử dụng Zetcut 165 và sử dụng ONV120. Kết quả cho thấy ứng suất nén trong áo cối thay đổi đáng kể theo vị trí, và vùng nguy hiểm nhất đối với độ bền dụng cụ là khu vực tiếp xúc giữa đầu cối và vỏ đỡ. Ảnh hưởng của ma sát đến ứng suất nén của dụng cụ không lớn trong khoảng hệ số ma sát khảo sát, nhưng ảnh hưởng rõ rệt đến lực tạo hình. Việc sử dụng chất bôi trơn giúp giảm lực dập khoảng 20–25% so với trường hợp không bôi trơn. Trong các loại khảo sát, dầu bôi trơn ONV120 cho hiệu quả tốt nhất trong việc giảm lực tạo hình và ứng suất tiếp xúc, qua đó góp phần nâng cao tuổi thọ dụng cụ.

Từ khóa: Độ cứng dụng cụ, đình tán, dầu bôi trơn, ma sát, phân tích phần tử hữu hạn, phần mềm QForm 10.3.3, dập nguội, hợp kim niken CrNi60WTi.

ABSTRACT

This paper presents the results of a study on the influence of lubricants on the cold heading process of rivets made from the heat-resistant alloy CrNi60WTi. The objective of the study was to evaluate the effect of friction conditions on the forming force and the stress state of the tooling during deformation. The research combined experimental cold heading tests performed on an LFM250 testing machine at room temperature with numerical simulation using QForm 10.3.3 software. The material model used in the simulation was developed from compression test data and described by the Hensel–Spittel equation. The heading process was investigated under three friction conditions: without lubricant, with Zetcut 165 lubricant, and with ONV120 lubricant. The results showed that the compressive stress in the die insert varied significantly with position, and the most critical zone for tool failure was located at the contact region between the die insert and the support sleeve. Although friction had only a limited effect on the compressive stress of the tooling within the investigated range, it strongly affected the forming force. The use of lubricants reduced the heading force by approximately 20–25% compared with the unlubricated condition. Among the tested lubricants, ONV120 provided the best performance in reducing both forming force and contact stress, thereby contributing to improved tool life.

Keywords: carbide tool, rivets, lubricants, friction, finite element analysis, QForm 10.3.3 program, cold heading, nickel alloy CrNi60WTi.

ĐẶT VẤN ĐỀ

Ma sát tiếp xúc làm giảm độ bền của dụng cụ, do cả hao mòn trực tiếp bề mặt tiếp xúc lẫn do việc

gia tăng nhiệt độ bề mặt và ứng suất phát sinh từ lực biến dạng tăng lên (Tiruneh, 2026). Dầu bôi trơn đóng một vai trò quan trọng trong quá trình dập nguội, vì chúng giúp giảm ứng suất cả trong phôi đang được biến dạng lẫn trong dụng cụ, từ đó làm giảm đáng kể độ mài mòn dụng cụ (Joun et al., 2025; Petkar et al., 2026). Theo nghiên cứu của tác giả V.P. Romanovsky (Sahu et al., 2026), khuôn dập phần lớn bị hỏng không phải do mài mòn hoàn toàn mà là do sự hình thành các vết xước và hư hỏng bề mặt của các chi tiết được dập. Ảnh hưởng của các yếu tố nêu trên được giảm thiểu đáng kể nhờ việc sử dụng các chất bôi trơn, mà hiện nay được sản xuất với nhiều đặc tính đa dạng. Đó có thể là dầu khoáng, dầu tổng hợp, dầu gốc ester sinh học và dầu bán tổng hợp (Yahaya et al., 2023), v.v. Việc phát triển một quy trình công nghệ đòi hỏi phải xem xét đến nhiều thông số kỹ thuật, bao gồm cả các thông số về ma sát, điều này cho phép tối ưu hóa quá trình tạo hình và giảm ứng suất tiếp xúc. Một phương pháp hỗ trợ để nâng cao độ bền của dụng cụ là sử dụng áo cối bằng hợp kim cứng sau đó được ép vào lòng khuôn với độ dôi phù hợp. Độ dôi này đảm bảo trạng thái ứng suất mong muốn cho các áo cối làm từ hợp kim cứng và cho phép giảm ứng suất kéo trên bề mặt làm việc của chày và cối xuống bằng không. Xét rằng trong quá trình dập nguội các chi tiết từ vật liệu có độ bền cao, các ứng suất lớn phát sinh do biến dạng lớn và thiếu thông tin hệ thống về việc ứng dụng các chất bôi trơn, cụ thể là khi dập định tán từ hợp kim niken.

1. Nội dung nghiên cứu

Bài báo nghiên cứu lực biến dạng và trạng thái ứng suất của dụng cụ trong quá trình dập nguội định tán từ hợp kim CrNi60WTi với các chất bôi

trơn khác nhau, bao gồm:

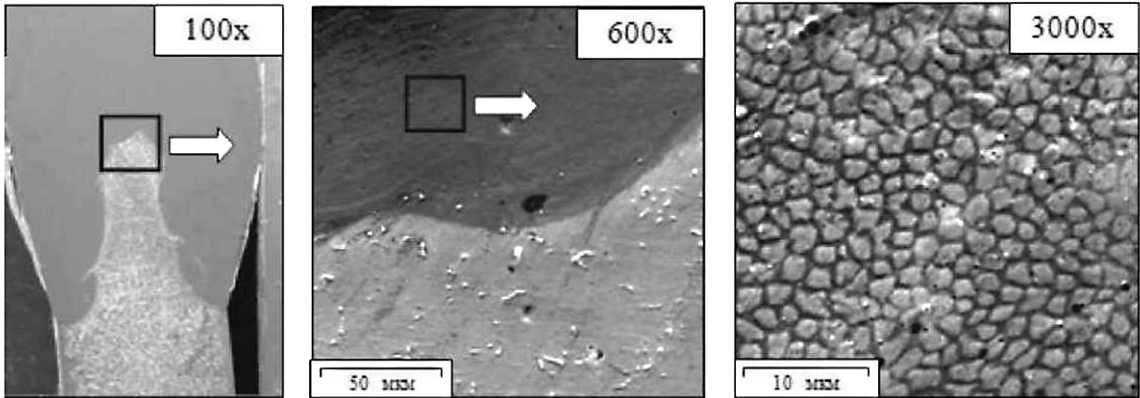
- Khảo sát thực nghiệm ảnh hưởng của chất bôi trơn đến quá trình tạo hình định tán trong điều kiện dập nguội, đồng thời xác định xu hướng biến đổi của lực tạo hình và chất lượng bề mặt sản phẩm;
- Đánh giá trạng thái ứng suất của dụng cụ thông qua phương pháp mô phỏng phần tử hữu hạn, làm rõ sự phân bố ứng suất tại các vùng làm việc nguy hiểm của bộ khuôn;
- Thực hiện thí nghiệm dập tạo hình định tán với các loại chất bôi trơn khác nhau nhằm xác định ảnh hưởng của điều kiện ma sát đến lực công nghệ, mức độ điền đầy lòng khuôn và khả năng biến dạng của vật liệu;
- Phân tích, so sánh và đánh giá các kết quả thực nghiệm và mô phỏng để lựa chọn chất bôi trơn phù hợp, bảo đảm hiệu quả công nghệ, độ bền dụng cụ và độ ổn định của quá trình tạo hình.

2. Vật liệu, thiết bị và phương pháp nghiên cứu

Vật liệu

Hợp kim này được sử dụng rộng rãi trong môi trường nhiệt độ cao và khắc nghiệt. Crom có khả năng chống oxy hóa và ăn mòn, niken mang lại độ dẻo và độ bền, vonfram tăng khả năng chịu nhiệt, và titan ổn định cấu trúc hợp kim. Vật liệu này được ứng dụng rộng rãi trong ngành hàng không vũ trụ và phát điện để sản xuất cánh tuabin, vòi phun và các bộ phận quan trọng khác hoạt động trong điều kiện nhiệt độ và tải trọng khắc nghiệt.

Vật liệu nghiên cứu là hợp kim CrNi60WTi, có thành phần hóa học như sau: Ni – 50-55%; Al - 0,50%; C – 0,1%; Si - 0,8%; Cr - 23%; Fe - 4%; W – 13-16%; Mo – 3,5÷4,5%; Ti – 0,3÷0,7%. Kích thước hạt ở trạng thái ban đầu là 10 - 50 μm (Hình 1), các đặc tính cơ lý được trình bày trong Bảng 1.



Hình 1. Tổ chức tế vi của vật liệu CrNi60WTi (Motta et al., 2026)

Bảng 1. Cơ-lý tính của CrNi60WTi

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị
1	Khối lượng riêng	kg/m ³	8300
2	Nhiệt độ nóng chảy	°C	1370÷1400
3	Độ dẫn nhiệt	W/(m.K)	12
4	Ứng suất bền	MPa	750÷850
5	Ứng suất chảy	MPa	550÷650
6	Độ dẫn dài	%	15÷20
7	Độ co thắt tỉ đối	%	52÷60
8	Modul đàn hồi	MPa	210x10 ³
9	Độ cứng	HB	250÷300

Thiết bị và phương pháp nghiên cứu

Thực nghiệm dập tạo hình đỉnh tán được tiến hành trên máy thử nghiệm model LFM250 ở nhiệt độ phòng. Vật liệu ban đầu là hợp kim niken CrNi60WTi (Chen et al., 2023), với các hệ số của mô hình vật liệu được trình bày trong bảng 2. Đường kính phôi ban đầu là 4 mm, và chiều dài là 10,85 ± 0,05 mm. Tốc độ biến dạng được giữ không đổi ở mức 0,033 mm/s. Hành trình làm việc của dụng cụ là 2,5 mm.

Để phân tích trạng thái ứng suất-biến dạng của phôi và dụng cụ bằng phương pháp phần tử hữu hạn (FEA) trong quá trình dập, tác giả sử dụng phần mềm QForm. Xét thấy cơ sở dữ liệu vật liệu biến dạng của phần mềm không có mô hình vật liệu cho hợp kim niken CrNi60WTi, dữ liệu phục vụ mô phỏng đã được thu thập thông qua thí nghiệm nén các mẫu hình trụ với đường kính và chiều cao lần lượt là 4 mm và 5 mm, ở các tốc độ 0,001, 0,01 và 0,4 s⁻¹ và các nhiệt độ 20, 200 và 450 °C, đồng thời ghi lại các đường cong "lực - hành trình". Khoảng nhiệt độ được lựa chọn có tính đến việc vật liệu bị nung nóng lên đến 250 °C trong quá trình nén sơ bộ đã được xác định bằng

phương pháp tính toán. Các số liệu thực nghiệm sau đó được tính toán bằng cách sử dụng phương trình Hensel-Spittel (Hensel & Shpittel, 1982):

$$\sigma_i = A.e^{m_1.T}.T^{m_9}.\dot{\epsilon}^{m_2}.e^{m_4/\epsilon}.$$
$$.(1 + \epsilon)^{m_5.T}.e^{m_7.\epsilon}.\dot{\epsilon}^{m_3}.\dot{\epsilon}^{m_8.T}$$

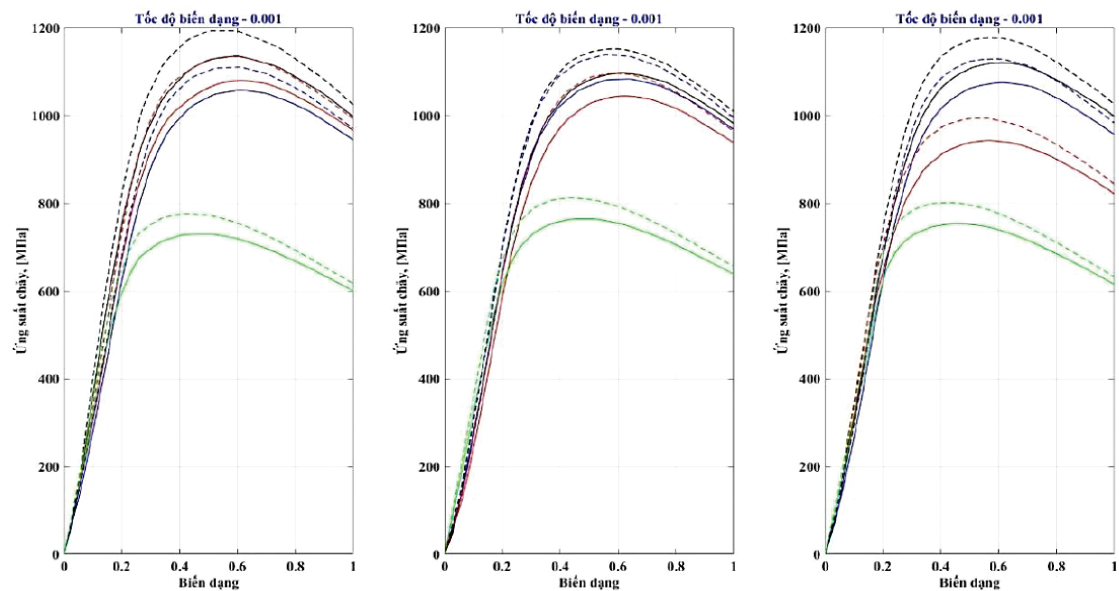
(1)

Trong đó, A, m₁, m₂, m₃, m₄, m₅, m₇, m₈, m₉ – các hệ số được tính bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất trong chương trình MatLab. Sau khi tính toán ta nhận được kết quả được thể hiện trong bảng 2.

Xác định các hệ số của mô hình được thực hiện bằng phương pháp bình phương tối thiểu với sự hỗ trợ của các phần mềm MATLAB và Microsoft Excel. Để tinh chỉnh các đặc tính của mô hình vật liệu hợp kim CrNi60WTi và kiểm tra độ chính xác của kết quả mô phỏng, các phương pháp tiếp cận được mô tả trong nghiên cứu về điều khiển quá trình tạo hình hợp kim Titan cũng đã được xem xét. Nghiên cứu này minh họa rõ ảnh hưởng của các mô hình vật liệu đến độ chính xác của việc dự báo các thông số lực. Việc này đã cho phép nâng cao độ tin cậy của các dữ liệu tính toán, đặc biệt khi ngoại suy các tính chất của hợp kim (Hình 2).

Bảng 2. Hệ số toán học của mô hình

Nhiệt độ, °C	A	m ₁	m ₂	m ₃	m ₄
20÷450	1243,13	4,7e ⁻⁵	-0,0934	-0,0043	-0,1002
	m ₅	m ₇	m ₈	m ₉	
	-0,0002	-0,1329	9,05e ⁻⁰⁶	-0,0299	

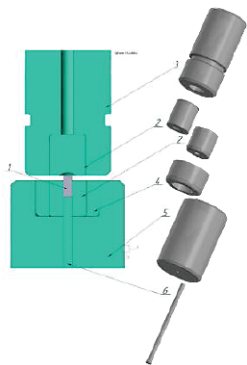


(--- thực nghiệm; — tính toán)
 I (Đen) – 20 °C; II (Xanh dương) – 100 °C; III (Đỏ) – 200 °C; IV (Xanh lá cây) – 450 °C
Hình 2. So sánh ứng suất chảy thực nghiệm và tính toán trong quá trình nén mẫu ở các tốc độ và nhiệt độ 20, 100, 200 và 450 °C

Phân tích trạng thái ứng suất - biến dạng của dữ liệu đầu vào sau đây và (Bảng 3) và có tính đến ảnh hưởng của cấu trúc chất bôi trơn, điều này thực hiện bằng phần mềm QForm 10.3.3 với các đặc biệt quan trọng trong điều kiện áp suất cao.

Bảng 3. Hệ số toán học của mô hình

Thông số	Giá trị
Dạng phôi	Trụ; vật liệu CrNi60WTi
Kích thước phôi, mm	$\Phi 4 \times 10,85 \pm 0,05$
Hành trình dụng cụ, mm	2,5
Trạng thái ứng suất	3D
Nhiệt độ ban đầu của phôi, °C	20
Hệ số ma sát (theo định luật Levanov)	0; 0,2; 0,4
Tính đến các quá trình nhiệt	có
Tốc độ tạo hình, mm/phút	2

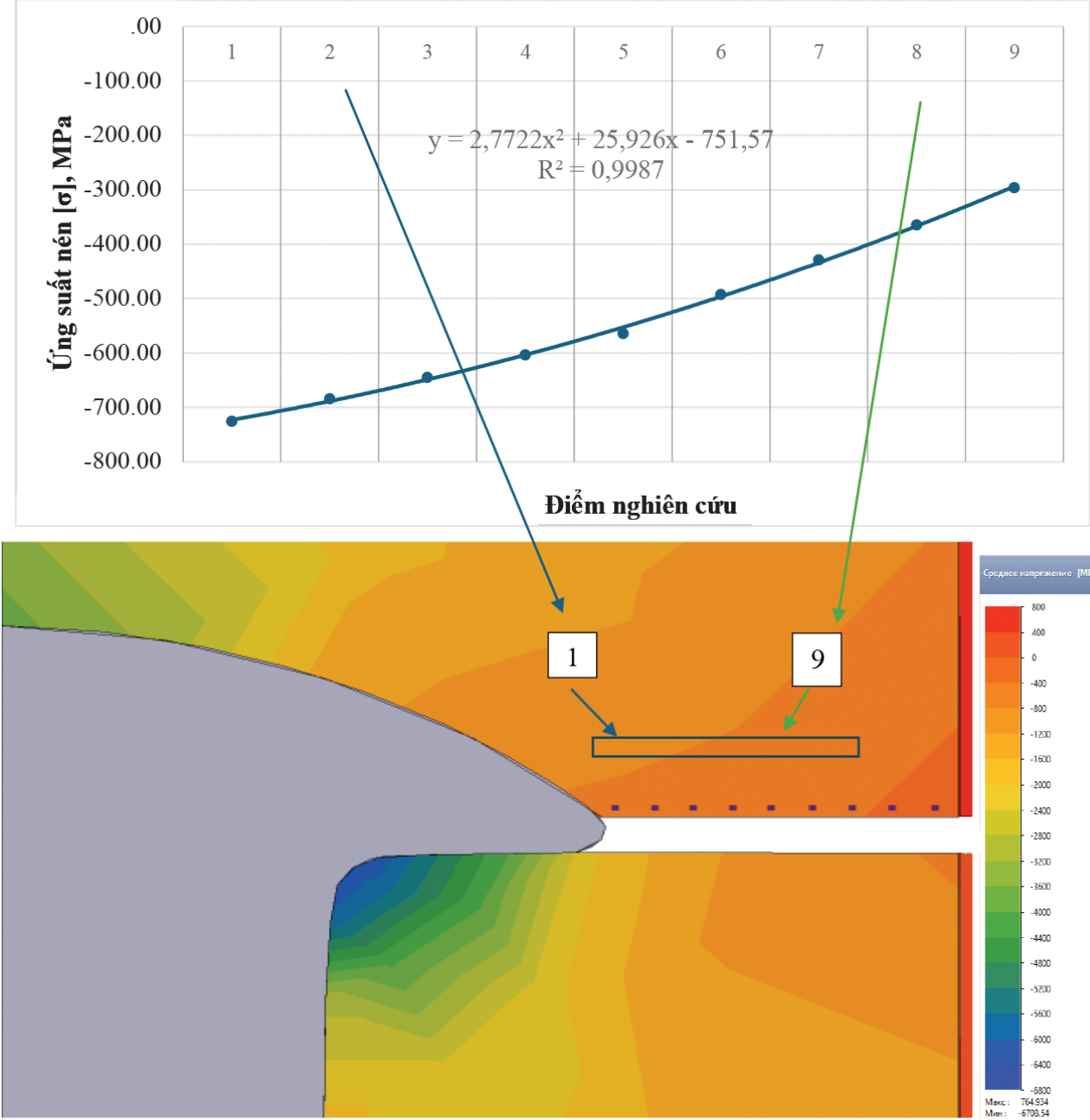


1 – Phôi; 2 – Dụng cụ (chày-cối); 3 – Vò chày; 4 – Áo cối; 5 – Vò cối; 6 – Ti đẩy
Hình 3. Sơ đồ dập định tán

3. Kết quả nghiên cứu

Kết quả mô phỏng cho thấy ứng suất nén trong áo cối có sự thay đổi đáng kể (từ 300 đến 700 MPa) theo hướng kính (Hình 4). Đây là yếu

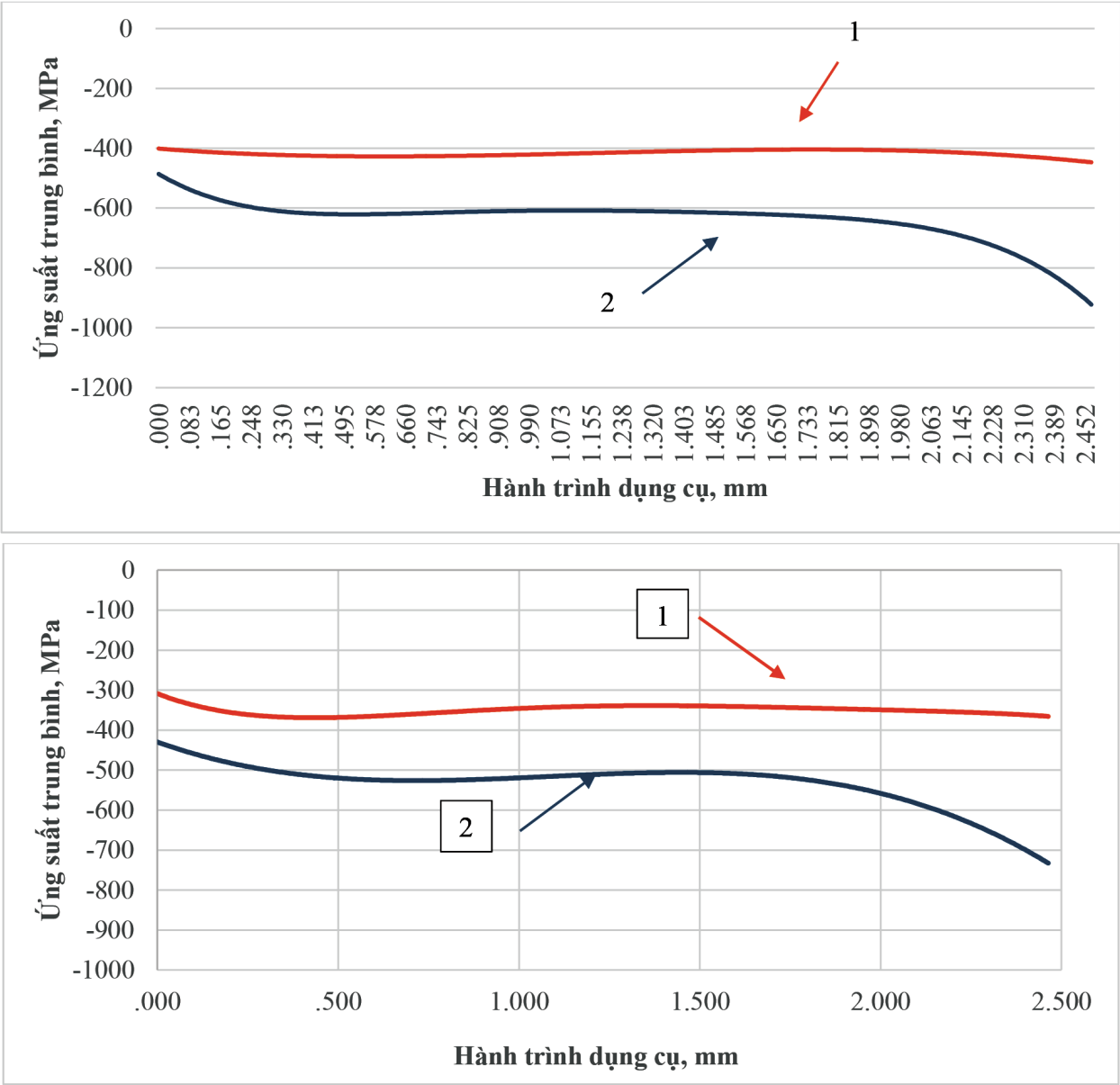
tố quyết định đến độ bền của dụng cụ, ứng suất nén càng cao thì nguy cơ hỏng dụng cụ càng thấp. Có thể thấy từ Hình 4, vị trí có khả năng hỏng dụng cụ cao nhất là khu vực tiếp xúc giữa đầu cối và vỏ đỡ.



Hình 4. Sự phân bố ứng suất nén trong đầu cối hợp kim cứng

Tuy nhiên, độ lớn của ứng suất nén tại mỗi điểm trên đầu cối thay đổi đáng kể trong quá trình dập. Có thể thấy trên Hình 5, chúng chịu sự dao động mạnh trong khoảng từ 400 đến 800 MPa. Xuất phát từ thực tế là độ bền của dụng cụ phụ

thuộc nhiều vào biên độ ứng suất phát sinh trong quá trình dập, chúng tôi đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của điều kiện ma sát đến trạng thái ứng suất – biến dạng.



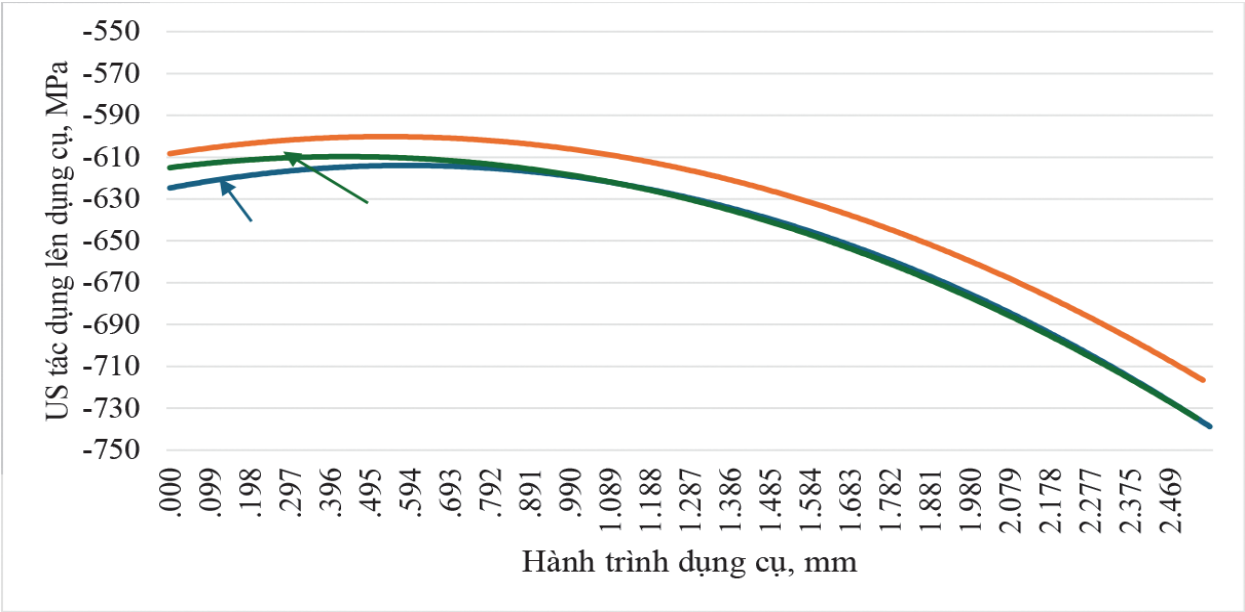
1 – điểm theo dõi số 9 (xem Hình 4), 2 – điểm theo dõi số 1 (kết quả mô phỏng)

Hình 5. Ứng suất nén trung bình trong quá trình dập định tán

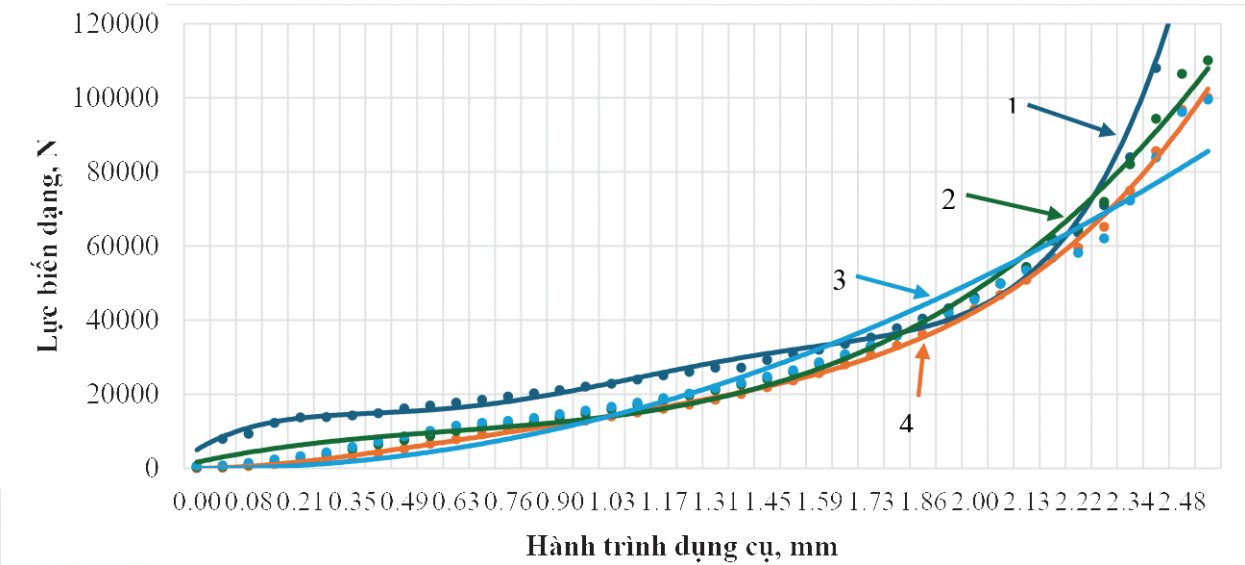
Kết quả phân tích ứng suất nén σ trong đầu cối hợp kim cứng tại điểm số 5 (xem Hình 4) cho thấy ảnh hưởng không đáng kể của hệ số ma sát trong khoảng giá trị từ 0.0 đến 0.4 (Hình 6). Tuy nhiên, có thể quan sát thấy xu hướng gia tăng ứng suất nén khi hệ số ma sát tăng lên. Do đó, việc sử dụng chất bôi trơn sẽ góp phần làm giảm ma sát khi dập, điều này tác động tích cực đến độ bền của dụng cụ (Romanov & Demidov, 2021).

Việc đánh giá ảnh hưởng của chất bôi trơn đến lực trong quá trình dập định tán được thực

hiện thông qua phân tích số liệu thu được từ quá trình biến dạng nguội ở tốc độ 0,033 mm/s và ghi lại đường cong “lực - hành trình dụng cụ”. Quá trình dập phôi được tiến hành với ba chế độ ma sát tiếp xúc khác nhau: không dùng chất bôi trơn, sử dụng chất bôi trơn Zetcut 165 và sử dụng chất bôi trơn ONV120. Các kết quả thu được được trình bày trong Hình 7. Cùng với đó, kết quả mô phỏng quá trình dập với hệ số ma sát bằng không (đường cong lý thuyết) sử dụng dữ liệu tính toán tương ứng với thực nghiệm cũng được đưa ra để so sánh.



Hình 6. Ảnh hưởng của ma sát đến ứng suất nén của dụng cụ tại điểm số 5



Hình 7. Ảnh hưởng của ma sát đến lực dập nguội đỉnh tán làm từ hợp kim CrNi60WTi

Từ những kết quả đã phân tích, có thể thấy rằng việc sử dụng dầu bôi trơn có ảnh hưởng đến lực khi dập, lực lớn nhất ở cuối quá trình chênh lệch nhau khoảng 20–25%. Kết quả mô phỏng cho các giá trị lực cao hơn một chút so với thực tế, tuy nhiên về mặt định tính, đặc tính của các đường cong là trùng khớp, và các chỉ số định lượng cho sự phù hợp ở mức độ cho phép. Xét từ góc độ giảm lực tạo hình đỉnh tán từ hợp kim CrNi60WTi và

giảm ứng suất tiếp xúc lên dụng cụ, thì sử dụng dầu bôi trơn nhãn hiệu ONV120 là lựa chọn tốt hơn. Như đã được trình bày trong các nghiên cứu (Joun, 2024), việc lựa chọn vật liệu chống ma sát hợp lý không chỉ cần tính đến việc giảm lực ma sát mà còn phải xem xét tính ổn định nhiệt và độ bám dính vào vật liệu phôi, điều này giải thích sự khác biệt về hiệu quả của các loại dầu bôi trơn Zetcut 165 và ONV120.

KẾT LUẬN

Trên cơ sở mô phỏng trạng thái ứng suất-biến dạng của đỉnh tán làm từ hợp kim CrNi60WTi được dập nguội bằng phần mềm QForm 10.3.3, đã xác định được rằng vị trí có khả năng hỏng dụng cụ cao nhất là khu vực tiếp xúc giữa đầu cối và vỏ đỡ.

Kết quả thực nghiệm cho thấy việc sử dụng chất bôi trơn làm giảm rõ rệt lực tạo hình trong quá trình dập nguội đỉnh tán từ hợp kim CrNi60WTi. So với trường hợp không bôi trơn, lực dập giảm khoảng 20–25%. Trong khoảng hệ số ma sát khảo sát, ảnh hưởng của điều kiện ma sát đến ứng suất nén của dụng cụ không lớn, song có xu hướng cải thiện điều kiện làm việc tiếp xúc của bộ khuôn.

Trong phạm vi điều kiện khảo sát của nghiên cứu này, dầu bôi trơn ONV120 cho hiệu quả tốt nhất trong việc giảm lực tạo hình và cải thiện điều kiện tiếp xúc của dụng cụ, do đó được xem là lựa chọn phù hợp nhất cho quá trình dập nguội đỉnh tán từ hợp kim CrNi60WTi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiruneh, A. B. (2026). Friction in metal forming processes: a comprehensive review of experimental methods, influencing factors and surface engineering approaches.

Petkar, P. M. et al. (2026). Experimental Investigation of Die Performance in Cold Forging. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 10(2), 70.

Joun, M. S., Park, M. C., Heo, Y., & Kim, D. H. (2025). A review of friction and lubricant in metal forming. *Lubricants*, 13(12), 512.

Sahu, K. et al. (2026). Experimental and numerical analysis on cold forging of steel balls: optimization of preforms using FEM simulation. *Scientific Reports*.

Yahaya, A. et al. (2023). Different Behaviors of Friction in Open and Closed Forging Tests of Palm Oil Derivatives. *Lubricants*, 11(3), 114.

Motta, C., Mastromatteo, F., Baldi, N., Gariboldi, E., & Bernardini, L. (2026). Creep Deformation Estimation of Single Crystal Ni-Based Superalloy by Optimized Geometrically Necessary Dislocation Density Evaluation. *Metals*, 16(1), 107.

Chen, X. M. et al. (2023). Characterization of hot deformation behavior and processing map of a nickel-based superalloy.

Hensel, A., & Shpittel, T. (1982). Raschet energosilovnykh parametrov v protsessakh obrabotki metallov davleniem [Calculation of energy-force parameters in metal forming processes]. *Metallurgiya*.

Romanov, A. V., & Demidov, A. S. (2021). Smazochnye materialy dlya kholodnoy ob'emnoy shtampovki: sravnitel'nyy analiz [Lubricants for cold forging: Comparative analysis]. *Kuznechno-Shtampovochnoe Proizvodstvo*, (3), 12–18.

Joun, M. S. (2024). On Lubrication Regime Changes during Forward Extrusion Processes. *Lubricants*, 12(10), 352.