

NGHIÊN CỨU THÍ NGHIỆM DẬP MẪU NHỎ CHO HỢP KIM NHÔM Ở NHIỆT ĐỘ THẤP

AN INVESTIGATION ON SMALL PUNCH TEST FOR ALUMINUM ALLOY AT LOW TEMPERATURE

PHẠM THỊ HẰNG

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Thủy lợi

Email liên hệ: pthang@thu.edu.vn

Tóm tắt

Trong nghiên cứu này, bộ đồ gá dùng cho thí nghiệm dập mẫu nhỏ ở nhiệt độ thấp được thiết kế và chế tạo. Mô hình thí nghiệm ở nhiệt độ thấp được thiết lập, sau đó thử nghiệm cho hợp kim nhôm 6061. Kết quả thí nghiệm dập mẫu nhỏ trên thiết bị thử kéo phù hợp với các công bố trước đó và đủ độ tin cậy. Thí nghiệm được thực hiện ở nhiệt độ thấp khoảng -50°C . Kết quả ở điều kiện thí nghiệm nhiệt độ thấp cho thấy giá trị lực tới hạn và lực cực đại đều tăng đáng kể. Do đó, có thể dự đoán độ bền của hợp kim nhôm 6061, đặc biệt là giới hạn chảy và giới hạn bền ở nhiệt độ thấp được cải thiện so với điều kiện nhiệt độ phòng. Trong khi đó, giá trị chuyển vị tại điểm lực cực đại của vật liệu hầu như không thay đổi trong hai điều kiện nhiệt độ thí nghiệm.

Từ khóa: Cơ tính vật liệu, hợp kim nhôm, nhiệt độ thấp, thí nghiệm dập mẫu nhỏ.

Abstract

In this study, a specialized fixture for small punch test at low temperature was designed and manufactured. A small punch model was set up at low temperature for investigation of mechanical properties for aluminum alloy 6061. The results of the small punch test based on the conventional testing machine were consistent with previous publication and were sufficiently reliable. The experiment was carried out at a low temperature of about -50°C . In the case of low temperature condition, the values of yield force as well as maximum force increase significantly compared to the case of room temperature condition. Thus, it is expected that the strength of aluminum alloy 6061, especially the yield strength and ultimate strength, at lower temperature is improved. Meanwhile, the value of deflection at the maximum force almost unchanged in the two experimental temperature conditions.

Keywords: Mechanical properties, aluminum alloy, low temperature, small punch test.

1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, mô hình thí nghiệm dập mẫu nhỏ được sử dụng phổ biến trên thế giới để đánh giá tính chất cơ học của vật liệu do phương pháp thí nghiệm này có nhiều ưu việt. Phương pháp này sử dụng mẫu thí nghiệm dạng đĩa có kích thước rất nhỏ, đường kính chỉ khoảng 10mm với chiều dày từ 3-7 (mm), nên chi phí cho thí nghiệm rất rẻ so với phương pháp thí nghiệm truyền thống khác [1]. Các nghiên cứu trước đây [2, 3] đã sử dụng kết quả từ thí nghiệm dập mẫu nhỏ để đánh giá độ bền của vật liệu thông qua mối quan hệ với thí nghiệm kéo đúng tâm. Lancaster và cộng sự [4] đề xuất công thức tính giới hạn chảy của vật liệu và giới hạn bền của vật liệu thông qua giá trị lực tới hạn và lực cực đại thu được từ thí nghiệm dập mẫu nhỏ. Garcia và cộng sự [5] đã áp dụng phương pháp thí nghiệm dập mẫu nhỏ để tính độ bền, độ dẻo cho các loại vật liệu khác nhau. Như vậy, phương pháp thí nghiệm dập mẫu được coi là phương pháp thí nghiệm cơ tính vật liệu đáng tin cậy và được áp dụng rộng rãi để tính toán độ bền, độ dẻo của vật liệu.

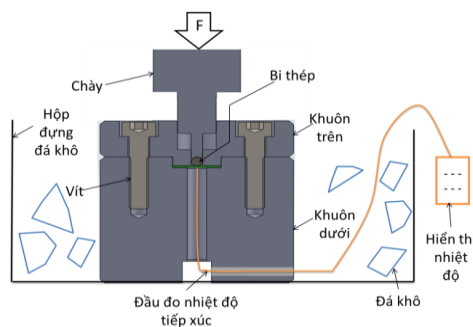
Một trong những ưu việt của phương pháp thí nghiệm dập mẫu nhỏ là có thể thực hiện trên máy thử kéo với chi phí thấp. Trong nghiên cứu trước đây của nhóm tác giả Phạm Thị Hằng và cộng sự [6] đã thiết lập và thử nghiệm thành công mô hình thí nghiệm dập mẫu nhỏ với việc thiết kế một bộ đồ gá mới. Mô hình thí nghiệm này được áp dụng để đánh giá cơ tính của hợp kim nhôm A1050-H14 [7] và thép không gỉ SUS304 [8] cho kết quả đáng tin cậy. Tuy nhiên, các thí nghiệm này đều được thực hiện ở nhiệt độ phòng. Trong khi đó, nhiều nghiên cứu cho thấy tính chất cơ học của vật liệu ở nhiệt độ thường và nhiệt độ thấp rất khác biệt. Thông thường ở nhiệt độ thấp vật liệu sẽ dễ bị biến giòn dẫn đến việc bị phá hủy giòn. Điều này gây nguy hiểm cho các kết cấu hay các chi tiết làm việc ở nhiệt độ thấp, ví dụ như các chi tiết bằng kim loại trong các kho lạnh hay các thiết bị bảo quản ở nhiệt độ âm sâu. Trong khi đó, chưa có nhiều nghiên cứu về tính chất cơ học của vật liệu ở nhiệt độ thấp do điều kiện thí nghiệm ở nhiệt độ thấp phức tạp hơn nhiều so với ở

nhệt độ thường. Để có thể chủ động thực hiện được các nghiên cứu về tính chất cơ học, tính chất phá hủy của vật liệu ở nhiệt độ thấp với các điều kiện thí nghiệm trang thiết bị sẵn có ở Việt Nam, việc nghiên cứu thiết lập thí nghiệm là cần thiết.

Trong nghiên cứu này, bộ đồ gá chuyên dụng dùng cho thí nghiệm đập mẫu nhỏ ở nhiệt độ thấp được thiết kế và chế tạo. Mô hình thí nghiệm ở nhiệt độ thấp được thiết lập, sau đó thử nghiệm cho mẫu thí nghiệm bằng hợp kim nhôm 6061. Độ tin cậy của kết quả thí nghiệm được kiểm nghiệm thông qua so sánh với nghiên cứu trước đây. Tính chất cơ học của hợp kim nhôm ở nhiệt độ thường và nhiệt độ thấp được so sánh, thảo luận.

2. Phương pháp nghiên cứu

Mô hình thí nghiệm đập mẫu nhỏ được thể hiện trên Hình 1.



Hình 1. Mô hình thí nghiệm đập mẫu nhỏ ở nhiệt độ thấp

Đồ gá thí nghiệm đập mẫu nhỏ bao gồm khuôn trên, khuôn dưới, chày và viên bi thép. Để thuận lợi hơn cho quá trình chế tạo chày sẽ sử dụng bi thép đường kính 2,4mm tiếp xúc trực tiếp lên mẫu thí nghiệm. Mẫu thí nghiệm làm bằng hợp kim nhôm 6061 dạng đĩa, đường kính 10mm và chiều dày 0,5mm. Mẫu được chế tạo bằng phương pháp cắt dây trên máy cắt EDM đảm bảo dung sai kích thước đường kính là $10 \pm 0,01$ mm và kích thước chiều dày $0,5 \pm 0,005$ mm. Đường kính lỗ của khuôn dưới là 4mm. Mẫu thí nghiệm được đặt chính giữa của khuôn dưới, sau đó khuôn trên và khuôn dưới bắt chặt vít với nhau. Dưới tác dụng của lực F thông qua chày và bi thép, mẫu thí nghiệm bị biến dạng với dạng điển hình là hình chiếc mũ, tiết diện bị thắt ở vùng giữa mẫu và sau đó bị phá hủy. Bộ đồ gá thí nghiệm đập mẫu nhỏ được thể hiện trên Hình 2. Khi thí nghiệm ở nhiệt độ thấp, toàn bộ đồ gá sau khi gá kẹp mẫu thí nghiệm (trừ chày và bi thép) được nhúng trong môi trường nitơ lỏng ở nhiệt độ âm sâu khoảng -195°C . Sau đó, lấy toàn bộ khuôn ra và đặt trong hộp đá khô để đảm bảo giữ nhiệt độ ở



Hình 2. Đồ gá thí nghiệm đập mẫu nhỏ ở nhiệt độ thấp



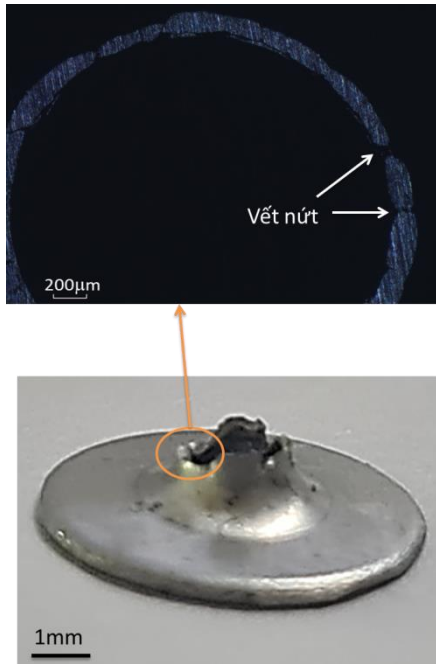
Hình 3. Sơ đồ gá đặt thí nghiệm đập mẫu nhỏ ở nhiệt độ thấp

dưới 0°C trong suốt quá trình thí nghiệm. Sơ đồ gá đặt thí nghiệm đập mẫu nhỏ ở nhiệt độ thấp trên thiết bị thử kéo được thể hiện trên Hình 3. Một đầu đo nhiệt độ tiếp xúc được chạm vào mặt dưới của mẫu thí nghiệm để đo nhiệt độ mẫu thử và kết quả hiển thị nhiệt độ trong quá trình thí nghiệm là khoảng -50°C . Tốc độ dịch chuyển của đầu chày được cài đặt là 0,018mm/s. Do thí nghiệm đập mẫu nhỏ sử dụng mẫu có kích thước rất nhỏ nên giá trị lực và chuyển vị không lớn như các thí nghiệm thông thường khác như kéo, nén, uốn,... Do đó, để thu được kết quả chính xác về lực và chuyển vị thì cần thêm thiết bị đo ngoài. Một cảm biến đo lực được đặt phía trên bộ đồ gá của thí nghiệm đập mẫu nhỏ để thu được giá trị của lực theo thời gian. Ngoài ra, đầu đo chuyển vị được sử dụng để đo chuyển vị của đầu tác dụng lực theo thời gian trong quá trình thí nghiệm.

3. Kết quả và thảo luận

Hình ảnh mẫu thử sau khi thí nghiệm đập mẫu nhỏ ở nhiệt độ phòng và nhiệt độ thấp thể hiện trên Hình 4 với các độ phóng đại khác nhau. Sau khi thí nghiệm, mẫu đã bị biến dạng phần tiếp xúc với đầu chày. Mẫu bị phá hủy làm đôi, và xuất hiện các vết nứt theo các

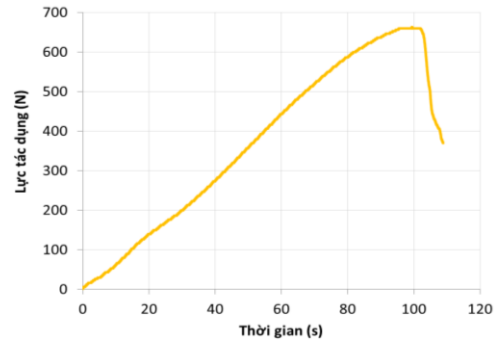
phương khác nhau. Biên dạng mẫu sau khi thí nghiệm rất giống với dạng điển hình thường quan sát trong thí nghiệm dập nhỏ. Hiện tượng mẫu thí nghiệm bị phá hủy làm đôi có thể giải thích do ứng suất kéo dưới tác dụng của lực theo phương vuông góc với mặt trên của mẫu thí nghiệm. Tuy nhiên, trạng thái ứng suất trong thí nghiệm dập mẫu nhỏ khá phức tạp. Ngoài ứng suất kéo, vật liệu còn chịu ứng suất cắt làm cho mẫu xuất hiện các vết nứt theo các phương khác nhau.



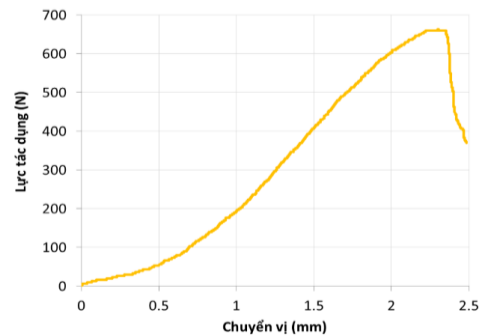
Hình 4. Hình ảnh mẫu thử sau khi thí nghiệm dập mẫu nhỏ ở nhiệt độ phòng

Hình 5 thể hiện kết quả giá trị lực tác dụng theo thời gian thu được từ cảm biến lực trong trường hợp thí nghiệm ở nhiệt độ phòng. Từ kết quả Hình 5 và kết quả chuyển vị thu được, thiết lập được quan hệ giữa lực tác dụng - chuyển vị của đầu chày thể hiện trên Hình 6 khi thí nghiệm ở nhiệt độ phòng cho hợp kim nhôm 6061. Từ Hình 6 cho thấy, đường cong quan hệ lực tác dụng - chuyển vị đầu chày rất giống đường cong điển hình thu được từ thí nghiệm dập mẫu nhỏ cho vật liệu dẻo. Theo Abendroth và cộng sự [9], đường cong này có thể được chia thành các phần tương ứng với các giai đoạn biến dạng của vật liệu: Từ biến dạng đàn hồi, trải qua giai đoạn chuyển tiếp đàn hồi - dẻo sang giai đoạn biến dạng dẻo rồi dẫn tới phá hủy. Kết quả quan hệ lực tác dụng - chuyển vị thu được ở nhiệt độ phòng rất tương đồng với kết quả công bố của Ma và cộng sự [10] cho cùng loại vật liệu nghiên cứu là hợp kim nhôm 6061. Sự khác biệt nhỏ về giá trị lực có thể do dạng mẫu thí nghiệm sử dụng

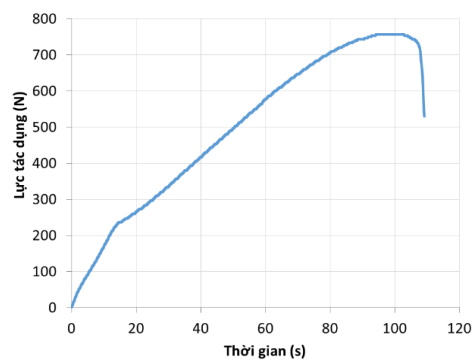
trong hai nghiên cứu là khác nhau. Trong nghiên cứu trước đây [10] sử dụng mẫu thí nghiệm tiết diện ngang dạng hình chữ nhật. Từ kết quả thí nghiệm Hình 4 và 6 cho thấy việc bố trí thí nghiệm dập mẫu nhỏ trong nghiên cứu này là hợp lý và kết quả thí nghiệm thu được là đáng tin cậy.



Hình 5. Lực tác dụng - thời gian ở nhiệt độ phòng

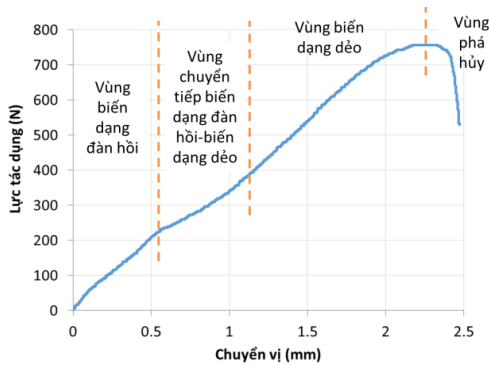


Hình 6. Lực tác dụng - chuyển vị ở nhiệt độ phòng



Hình 7. Lực tác dụng - thời gian ở nhiệt độ thấp

Hình 7 thể hiện kết quả giá trị lực tác dụng theo thời gian thu được từ cảm biến lực trong trường hợp thí nghiệm ở nhiệt độ thấp (khoảng -50°C). Từ kết quả Hình 7 và kết quả chuyển vị thu được, thiết lập được quan hệ giữa lực tác dụng và chuyển vị ở nhiệt độ thấp thu được ở Hình 8. Đường cong lực tác dụng - chuyển vị ở nhiệt độ thấp vẫn giống với dạng đường cong điển hình thu được từ thí nghiệm dập mẫu nhỏ. So với kết quả ở nhiệt độ phòng trong Hình 6, khi thí nghiệm ở



Hình 8. Lực tác dụng - chuyển vị ở nhiệt độ thấp

nhật độ thấp, giai đoạn biến dạng đàn hồi của vật liệu thể hiện rõ rệt và kéo dài hơn trước khi vật liệu sang giai đoạn chuyển tiếp biến dạng đàn hồi - biến dạng dẻo rồi trải qua giai đoạn biến dạng dẻo trước khi bị phá hủy.

Hình 9 thể hiện kết quả so sánh mối quan hệ lực - chuyển vị ở 2 điều kiện thí nghiệm nhiệt độ thấp và nhiệt độ phòng. Theo Lancaster và cộng sự [4], giá trị lực lớn nhất trong giai đoạn biến dạng đàn hồi gọi là lực tới hạn. Giá trị lực lớn nhất từ đường cong lực tác dụng - chuyển vị gọi là lực cực đại.

Lancaster và cộng sự [4] đề xuất công thức tính giới hạn chảy của vật liệu tính từ giá trị lực tới hạn như sau:

$$\sigma_y = \alpha_1 \frac{F_y}{t_0^2} + \alpha_2 \quad (1)$$

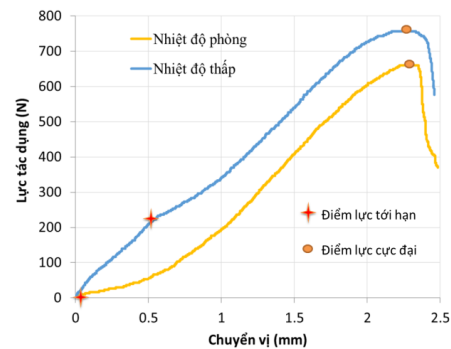
Giới hạn bền kéo σ_{uts} được tính từ kết quả lực cực đại thu được từ thí nghiệm dập mẫu nhỏ như sau:

$$\sigma_{uts} = \beta_1 \frac{F_m}{d_m t_0} + \beta_2 \quad (2)$$

Ngoài ra, độ giãn dài tương đối A(%) của vật liệu được tính theo công thức (3):

$$A(\%) = \delta \frac{d_m}{t_0} \quad (3)$$

Trong đó, $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \delta$ là các hệ số hiệu chỉnh, F_y là giá trị lực tới hạn, F_m là giá trị lực cực đại thu được từ thí nghiệm dập mẫu nhỏ, d_m là chuyển vị tại điểm lực cực đại, t_0 là chiều dày ban đầu của mẫu thử. Garcia và cộng sự [5] cho thấy các hệ số $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \delta$ phụ thuộc vào vật liệu và điều kiện thí nghiệm nhưng đều là các hệ số dương. Quan hệ giữa σ_y và F_y/t_0^2 ; giữa σ_{uts} và $F_m/(d_m t_0)$; giữa A(%) và d_m/t_0 là tỉ lệ thuận. Có thể thấy rõ, khi nhiệt độ thí nghiệm hạ xuống còn -50°C , giá trị lực tới hạn và lực cực đại đều tăng đáng kể. Do đó, có thể dự đoán giới hạn chảy và giới hạn bền của hợp kim nhôm 6061



Hình 9. So sánh quan hệ lực tác dụng - chuyển vị ở nhiệt độ khác nhau

được cải thiện ở nhiệt độ thấp. Tuy nhiên, giá trị chuyển vị tại điểm lực cực đại gần như không thay đổi ở 2 điều kiện nhiệt độ. Như vậy, độ dẻo của vật liệu gần như không ảnh hưởng khi hạ thấp nhiệt độ thí nghiệm.

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, bộ đồ gá chuyên dụng dùng cho thí nghiệm dập mẫu nhỏ ở nhiệt độ thấp được thiết kế và chế tạo và thử nghiệm thành công cho hợp kim nhôm 6061. Kết quả thí nghiệm dập mẫu nhỏ trên thiết bị thử kéo phù hợp với các công bố trước đó và đủ độ tin cậy. Mô hình thí nghiệm ở điều kiện nhiệt độ thấp đã được thiết lập cho thí nghiệm dập mẫu nhỏ. Ở điều kiện thí nghiệm nhiệt độ thấp khoảng -50°C cho thấy giá trị lực tới hạn và lực cực đại đều tăng đáng kể. Do đó, có thể dự đoán độ bền của hợp kim nhôm 6061, đặc biệt là giới hạn chảy và giới hạn bền ở nhiệt độ thấp được cải thiện so với điều kiện nhiệt độ phòng. Trong khi đó, giá trị chuyển vị tại điểm lực cực đại của vật liệu nghiên cứu hầu như không thay đổi trong 2 điều kiện nhiệt độ thí nghiệm. Trên cơ sở mô hình thí nghiệm ở nhiệt độ thấp được thiết lập thành công sẽ là tiền đề cho các nghiên cứu tiếp theo về tính chất cơ học của vật liệu ở điều kiện nhiệt độ thấp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] X. Mao, T. Shoji, H. Takahashi (1987), *Characterization of fracture behavior in small punch test by combined recrystallization-etch method and rigid plastic analysis*, J. Test. Eval., Vol.15, pp.30-37.
- [2] P. Hähner, C. Soyarslan, B. G. Çakan, S. Bargmann (2019), *Determining tensile yield stresses from small punch tests: A numerical-based scheme*, Mater. Des., Vol.182, pp.107974.

- [3] V. P. Aishwary, V. Karthik., R. S. Abdul, K. Ashish, R. Divakar (2022), *Estimation of UTS from small punch test using an improved method*, Int. J. Press. Vessels Pip., Vol.200, pp.104818.
- [4] R. J. Lancaster, S. P. Jeffs, B. J. Haigh, N. C. Barnard (2022), *Derivation of material properties using small punch and shear punch test methods*, Mater. Des., Vol.215, pp.110473.
- [5] T. E. García, C. Rodríguez, F. J. Belzunce, C. Suárez (2014), *Estimation of the mechanical properties of metallic materials by means of the small punch test*, J. Alloys Compd., Vol.582, pp.708-717.
- [6] Phạm Thị Hằng, Nghiêm Văn Vinh (2022), *Thiết kế, chế tạo bộ đồ gá thí nghiệm dập mẫu nhỏ và thử nghiệm cho mẫu thép không gỉ*, Tạp chí Khoa học và công nghệ - Đại học Đà Nẵng, Số 20 (9), tr.34-38.
- [7] Y. T. Doan, H. T. Pham, Q. K. Le, T. H. N. Nguyen, V. V. Nghiem (2023), *Experimental evaluation of fracture properties of aluminum alloy 1050-H14 by small punch test*. Strength Fract. Complex., Vol.16, No.1, pp.61-72.
- [8] Y. T. Doan, H. T. Pham (2024), *Application of small punch test to estimate mechanical behavior of SUS304 austenitic stainless steel*, Vietnam J. Mech., Vol.46, No.2, pp.138-151.
- [9] M. Abendroth, and M. Kuna (2003), *Determination of deformation and failure properties of ductile materials by means of the small punch test and neural networks*. Comput. Mater. Sci., Vol.28, pp.633-644.
- [10] Y. W. Ma, S. H. Lee, K. B. Yoon (2011), *Evaluation of fracture toughness using small punch test for aluminum 6061-T6 type-3 cylinder liner*, J. Kor. Inst. Gas., Vol.15, pp.21-26.

Ngày nhận bài:	09/08/2024
Ngày nhận bản sửa:	31/08/2024
Ngày duyệt đăng:	16/09/2024