



ỨNG DỤNG PHẦN MỀM MATLAB XÂY DỰNG MÔ HÌNH VẬT LIỆU VT1-0 ĐỂ MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH BIẾN DẠNG ĐÉO

Vũ Trọng Bách^{1*}, Đào Ngọc Điệp¹, Nguyễn Xuân Tiến²

¹Trường Đại học Cửu Long

²Trường Đại học Trần Đại Nghĩa

*Email: vutrongbach@mku.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.65934/mkusj.2026.41.899>

Ngày nhận bài: 20/08/2025; Ngày phản biện: 25/11/2025; Ngày duyệt bài: 27/01/2026

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng nhằm xây dựng mô hình vật liệu cho titan kỹ thuật VT1-0 phục vụ mô phỏng các quá trình biến dạng dẻo. Thực nghiệm chôn đẳng nhiệt được tiến hành trên mẫu VT1-0 kích thước 10×10 mm trong dải nhiệt độ từ 20 đến 800 °C với các tốc độ biến dạng 0,001; 0,01 và 0,1 s^{-1} . Các đường cong chảy thu được phản ánh rõ ảnh hưởng của nhiệt độ và tốc độ biến dạng đến ứng suất chảy của vật liệu, đồng thời cho thấy sự cần thiết phải xây dựng mô hình vật liệu dựa trên dữ liệu thực nghiệm thay vì sử dụng các mô hình thư viện có sẵn.

Trên cơ sở dữ liệu thực nghiệm, phần mềm Matlab được sử dụng để xác định các hệ số của mô hình vật liệu theo phương trình Hensel–Spittel bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất. Mô hình vật liệu thu được được tích hợp vào phần mềm QForm VX để mô phỏng quá trình miết chi tiết mỏng đối xứng trục. Kết quả mô phỏng cho thấy sự phù hợp tốt với thực nghiệm, với sai số trung bình nhỏ hơn 10%, khẳng định tính tin cậy của mô hình và khả năng ứng dụng cho các quá trình gia công áp lực cũng như các vật liệu kim loại khác.

Từ khóa: Hensel-Spittel, miết, mô hình hóa, Qform VX, Titan VT1-0.

ABSTRACT

This paper presents an experimental and numerical study aimed at developing a material model for commercial titanium VT1-0 to simulate plastic deformation processes. Isothermal compression tests were conducted on VT1-0 samples with dimensions of 10×10 mm in the temperature range of 20–800 °C at strain rates of 0.001, 0.01, and 0.1 s^{-1} . The obtained flow stress curves clearly demonstrate the effects of temperature and strain rate on the material behavior, highlighting the limitations of using standard library-based material models in forming simulations.

Based on the experimental data, Matlab software was applied to determine the coefficients of the Hensel-Spittel constitutive model using the least-squares method. The developed material model was implemented in QForm VX to simulate the spinning process of an axisymmetric thin-walled component. The simulation results show good agreement with experimental observations, with an average error below 10%, confirming the reliability of the proposed material model and its applicability to other metal forming processes and materials.

Keywords: Hensel-Spittel, spinning, modeling, Qform VX, Titan VT1-0.



1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, việc ứng dụng các phần mềm mô phỏng trong gia công áp lực như QForm, Deform hay AutoForm đã trở thành một công cụ quan trọng nhằm phân tích, dự đoán và tối ưu hóa quá trình công nghệ, góp phần giảm chi phí thử nghiệm và rút ngắn thời gian thiết kế sản phẩm. Tuy nhiên, độ chính xác của kết quả mô phỏng phụ thuộc rất lớn vào mô hình vật liệu và dữ liệu đầu vào được sử dụng cho vật liệu nghiên cứu.

Đối với titan kỹ thuật VT1-0, nhiều công trình đã tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của biến dạng dẻo cường độ lớn đến tổ chức tế vi và cơ tính, cũng như xác định các đường cong chảy trong những điều kiện nhiệt độ và tốc độ biến dạng khác nhau [2-5, 7-9]. Các nghiên cứu này đã cung cấp cơ sở dữ liệu thực nghiệm quan trọng, làm rõ quy luật hóa bền, mềm hóa và sự nhạy cảm với tốc độ biến dạng của vật liệu VT1-0. Tuy nhiên, phần lớn các trường hợp, dữ liệu vật liệu thu được mới chỉ được sử dụng ở mức phân tích cơ bản, hoặc dưới dạng các đường cong chảy riêng lẻ, chưa được tích hợp thành mô hình vật liệu tổng quát để áp dụng trực tiếp cho mô phỏng các quá trình công nghệ cụ thể.

Bên cạnh đó, các thư viện vật liệu tích hợp sẵn trong các phần mềm mô phỏng thương mại thường mang tính khái quát, chưa xét đầy đủ ảnh hưởng đồng thời của nhiệt độ, tốc độ biến dạng và điều kiện ma sát, đặc biệt đối với các quá trình biến dạng phức tạp như miết. Điều này có thể dẫn đến sai lệch đáng kể giữa kết quả mô phỏng và thực nghiệm, nhất là khi mô phỏng các vật liệu nhạy cảm với điều kiện nhiệt - tốc độ như titan kỹ thuật VT1-0.

Xuất phát từ thực tế trên, mô hình Hensel-Spittel được xem là một trong những mô hình thực nghiệm hiệu quả, cho phép mô tả sự phụ thuộc của ứng suất chảy vào biến dạng, tốc độ biến dạng và nhiệt độ thông qua các hệ số xác định từ dữ liệu thực nghiệm [1]. Mô hình

này đã được nhiều tác giả ứng dụng thành công trong nghiên cứu và mô phỏng các quá trình gia công áp lực kim loại [2, 3, 7].

Trong nghiên cứu này, tác giả tiến hành thực nghiệm chôn đẳng nhiệt phiôi Titan VT1-0 trong dải nhiệt độ từ 20 đến 800 °C và các tốc độ biến dạng khác nhau, trên cơ sở đó ứng dụng phần mềm MATLAB để xử lý dữ liệu và xây dựng mô hình vật liệu theo dạng Hensel-Spittel. Điểm mới của nghiên cứu là mô hình vật liệu thu được không chỉ được kiểm chứng thông qua so sánh với kết quả thực nghiệm chôn, mà còn được tích hợp trực tiếp vào phần mềm QForm VX để mô phỏng quá trình miết, từ đó đánh giá mức độ phù hợp giữa mô phỏng và thực nghiệm. Kết quả nghiên cứu góp phần nâng cao độ tin cậy của mô phỏng số và mở ra khả năng ứng dụng mô hình vật liệu VT1-0 cho các quá trình gia công áp lực khác.

2. Mục đích, nội dung, vật liệu, thiết bị và phương pháp nghiên cứu

2.1. Mục đích nghiên cứu

Mục đích của nghiên cứu là ứng dụng phần mềm Matlab xây dựng một mô hình vật liệu VT1-0 từ cơ sở dữ liệu thực nghiệm và sử dụng mô hình này để mô hình hóa các quá trình miết.

2.2. Nội dung nghiên cứu

- Tạo mẫu có cấu trúc hạt siêu mịn từ phiôi ban đầu.
- Xây dựng sơ đồ giải thuật bằng phần mềm Matlab.
- Xây dựng mô hình vật liệu Titan VT1-0.
- Mô phỏng quá trình miết bằng phần mềm QForm VX.

2.3. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

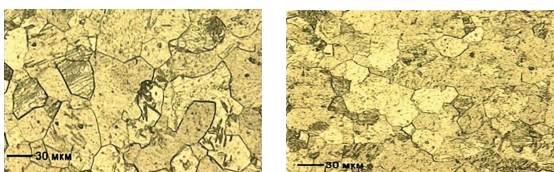
2.3.1. Vật liệu

Titan là một trong những vật liệu hiện đang được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực công nghiệp khác nhau, đặc biệt là trong công nghiệp hàng không và công nghiệp quốc phòng do có những ưu điểm sau: độ



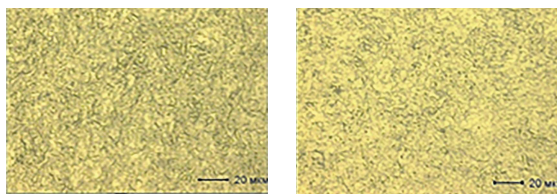
bền riêng cao, khả năng chống ăn mòn tốt, độ dẫn nhiệt thấp, tính dẻo cao, có khả năng hàn, chịu lạnh, không từ tính và một số đặc tính vật lý và cơ học khác.

Vật liệu nghiên cứu là hợp kim Titan VT1-0, có thành phần hóa học như sau: Fe - 0,25%; O - 0,20%; Si - 10%; C - 0,07%; N - 0,04%. Kích thước hạt ở trạng thái ban đầu là 30 - 70 μm (hình 1, 2), các đặc tính cơ lý của Titan VT1-0 được trình bày trong Bảng 1.



Tiết diện dọc Tiết diện ngang

Hình 1. Tổ chức tế vi của vật liệu Titan VT1-0 ở trạng thái ban đầu [4-5]



Tiết diện dọc Tiết diện ngang

Hình 2. Tổ chức tế vi của Titan VT1-0 ở trạng thái sau khi rèn cường độ cao [4-5]

Bảng 1. Cơ-lý tính của hợp kim Titan VT1-0 [3, 6]

TT	Tên gọi	Giá trị
1	Khối lượng riêng ρ, kg/m ³	4500
2	Nhiệt độ nóng chảy T _m , °C	1668± 4
3	Độ dẫn nhiệt λ, W/(m.K)	16,76
4	Ứng suất bền σ _b , MPa	300÷450
5	Ứng suất chảy σ _{0,2} , MPa	250÷380
6	Độ dẫn dài δ, %	25÷30
7	Độ co thắt tỉ đối ψ, %	50÷60
8	Modul đàn hồi E, GPa	110,25
9	Độ cứng, HB	103

2.3.2. Thiết bị và phương pháp nghiên cứu

- Nghiên cứu tổ chức tế vi

Các nghiên cứu về cấu trúc vi mô được thực hiện trên kính hiển vi Olympus Delta

với độ phóng đại 100, 200 và 500 và kính hiển vi CMM-2000 [2-3].

- Xác định cơ tính của các mẫu

Phôi có cấu trúc siêu mịn (UFG) nhận được bằng phương pháp rèn cường độ cao trên máy ép thủy lực PA2636 [2-3]. Rèn cường độ cao được thực hiện qua một số lần chôn chuyển tiếp giữa bề mặt đáy và đường sinh theo hướng thuận và ngược lại bằng cách xoay 90°. Giá trị biến dạng của mỗi bước từ 15-20%. Kết quả nhận được là kích thước hạt giảm từ 30-70 μm xuống 2-4 μm và độ lớn của biến dạng logarit ε ~ 2,5 (xác định theo sự giảm của kích thước hạt) [5]. Phôi được rèn từ đường kính 35 mm xuống 10 mm, mẫu được cắt bằng phương pháp cắt dây theo kích thước 10x10 mm (hình 3) và được thí nghiệm trên máy kéo nén LFM250 [2-3] với các tốc độ biến dạng 0,001; 0,01; 0,1 1/s.



Hình 3. Mẫu nén [7-9]

Tốc độ biến dạng được giữ không đổi, đạt được bằng cách di chuyển đầu trượt theo các giá trị tính toán được thiết lập bởi bộ điều khiển của máy. Độ dịch chuyển của đầu trượt của máy thí nghiệm được xác định theo phương trình [9]:

$$S_i = h_0 - \exp(\dot{\epsilon}_i \cdot t) \cdot h_0 \quad (1)$$

trong đó:

S_i – khoảng cách di chuyển của đầu trượt;

ε̇_i – tốc độ biến dạng;

t – thời gian;

h₀ – chiều cao ban đầu của mẫu.

2.4. Thực nghiệm và phân tích, xử lý số liệu

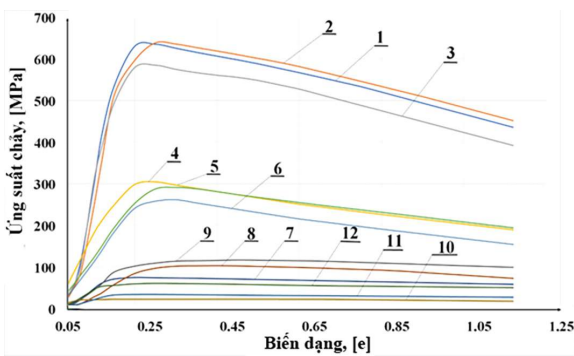
Kết quả thí nghiệm chôn đẳng nhiệt phôi Titan VT1-0 cho phép xác định các đường cong chảy tương ứng với các nhiệt độ 20, 400, 600 và 800 °C và các tốc độ biến dạng



0,001; 0,01 và 0,1 s⁻¹. Các đường cong chảy thực nghiệm thu được được trình bày trong Hình 4. Có thể nhận thấy rằng ứng suất chảy của vật liệu giảm rõ rệt khi nhiệt độ tăng, phản ánh cơ chế mềm hóa nhiệt chi phối quá trình biến dạng dẻo. Ngược lại, tại cùng một mức nhiệt độ, ứng suất chảy tăng khi tốc độ biến dạng tăng, cho thấy Titan VT1-0 có độ nhạy nhất định đối với tốc độ biến dạng, đặc biệt trong vùng nhiệt độ thấp và trung bình.

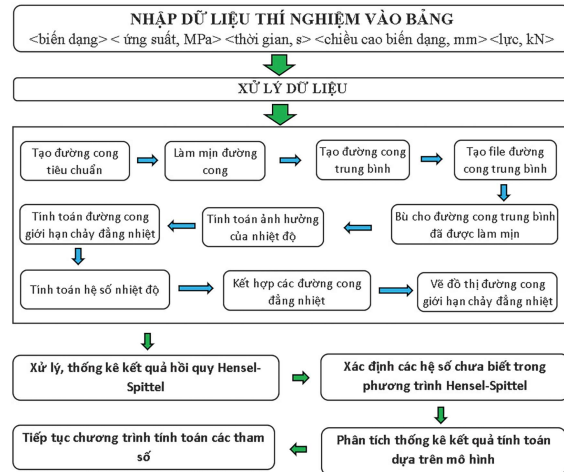
Từ Hình 4 cũng có thể thấy rằng ở nhiệt độ cao (600-800 °C), sự khác biệt giữa các đường cong chảy ứng với các tốc độ biến dạng khác nhau giảm dần. Điều này cho thấy ảnh hưởng của tốc độ biến dạng đến ứng suất chảy suy giảm khi nhiệt độ tăng, do các cơ chế phục hồi và tái sắp xếp lệch được kích hoạt mạnh mẽ bởi nhiệt. Sự tương tác giữa nhiệt độ và tốc độ biến dạng khẳng định tính phi tuyến của hành vi biến dạng dẻo đối với vật liệu Titan VT1-0.

Để mô tả mối quan hệ giữa ứng suất chảy, biến dạng, tốc độ biến dạng và nhiệt độ, các đường cong chảy thực nghiệm trong Hình 4 được xử lý theo sơ đồ giải thuật xây dựng bằng phần mềm MATLAB, trình bày trong Hình 5 [1]. Sơ đồ này cho phép hiệu chỉnh dữ liệu thực nghiệm có xét đến ảnh hưởng của ma sát, nhiệt độ khuôn và sự tự gia nhiệt của vật liệu trong quá trình biến dạng, đồng thời xác định các hệ số của mô hình Hensel-Spittel bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất.



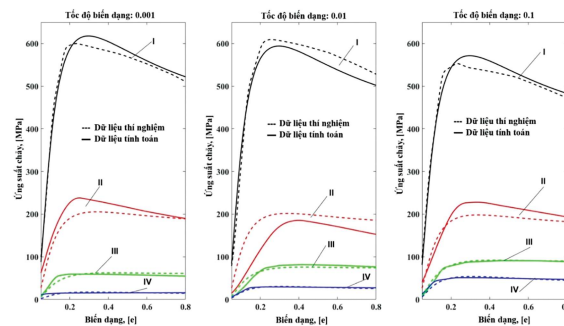
Hình 4. Đường cong bền của hợp kim Titan VT1-0 [2-3]

1, 4, 7, 10 - 2, 5, 8, 11 - 3, 6, 9, 12 lần lượt ứng với tốc độ biến dạng 0,001; 0,01; 0,1 (s⁻¹) và ở nhiệt độ 20, 400, 600 và 800 °C



Hình 5. Sơ đồ giải thuật xử lý đường cong đẳng nhiệt Titan VT1-0 [3]

Kết quả so sánh giữa các đường cong chảy thực nghiệm và các đường cong tính toán theo mô hình Hensel-Spittel được thể hiện trong Hình 6. Kết quả cho thấy sự phù hợp tốt giữa mô hình và thực nghiệm trong toàn bộ dải nhiệt độ và tốc độ biến dạng khảo sát, với sai lệch trung bình không vượt quá 10%. Điều này chứng tỏ mô hình vật liệu thu được phản ánh tương đối chính xác hành vi biến dạng dẻo của Titan VT1-0 trong điều kiện chèn đẳng nhiệt.



I- 20 °C; II - 400 °C; III - 600 °C; IV - 800 °C

Hình 6. So sánh giới hạn chảy thực nghiệm và tính toán trong quá trình chèn các mẫu với các tốc độ biến dạng khác nhau ở nhiệt độ 20-800 °C

Xử lý dữ liệu thực nghiệm, sau khi chôn đẳng nhiệt phôi Titan VT1-0, cho phép xây dựng mô hình vật liệu theo tài liệu Hensel-Spittel [1], nhận được mối quan hệ phụ thuộc giữa ứng suất chảy σ_i và các tham số cơ, nhiệt:

$$\sigma_i = A \cdot e^{m_1 \cdot T} \cdot T^{m_9} \cdot \epsilon^{m_2} \cdot e^{m_4/\epsilon} \cdot (1 + \epsilon)^{m_5 \cdot T} \cdot e^{m_7 \cdot \epsilon} \cdot \dot{\epsilon}^{m_3} \cdot \dot{\epsilon}^{m_8 \cdot T} \quad (2)$$

Trong đó:

- A: hệ số đặc trưng cho ứng suất chảy ban đầu của vật liệu;

- m_1, m_2 : hệ số ảnh hưởng của biến dạng và tốc độ biến;

- m_3, m_4 : hệ số phụ thuộc của ứng suất chảy vào tương tác nhiệt - biến dạng;

- m_5, m_7, m_8, m_9 : hệ số ảnh hưởng phi tuyến và sự tương tác phức tạp giữa các tham số cơ - nhiệt trong quá trình biến dạng dẻo.

Các hệ số được tính bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất trong chương trình MatLab [2]. Sau khi tính toán ta nhận được kết quả được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Hệ số toán học của mô hình

Nhiệt độ, °C	A	m_1	m_2	m_3	m_4
20÷400	10,032	-0,013	-0,747	-0,017	-0,192
	m_5	m_7	m_8	m_9	
	0,001	0,319	0	1,305	
Nhiệt độ	A	m_1	m_2	m_3	m_4
600÷800	5,042	0,111	0	43,481	-0,01
	m_5	m_7	m_8	m_9	
	0,01	0,001	-2,201	-0,404	

2.5. Mô hình hóa quá trình biến dạng dẻo

Áp dụng mô hình vật liệu được tìm thấy từ phương trình (2) vào phần mềm Qform VX để mô phỏng quá trình miết chi tiết dạng khí động trong động cơ tua bin khí, với các thông số như sau:

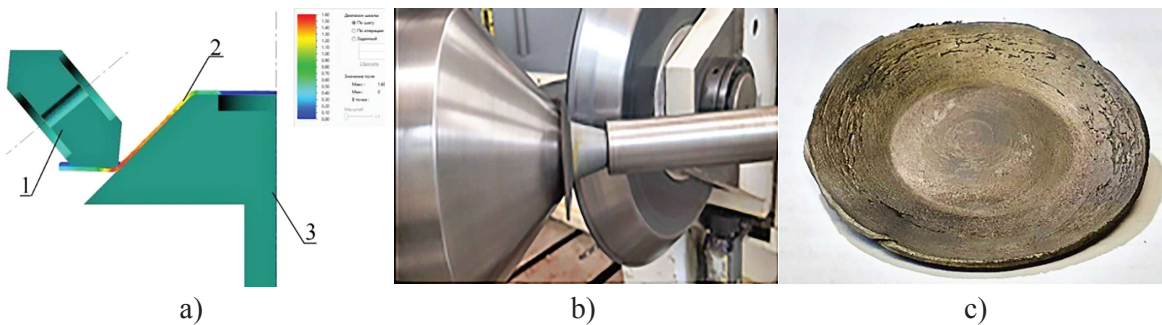
- Đường kính phôi: 90 mm

- Chiều dày phôi: S0: 2mm

- Hệ số ma sát: 0.8

- Tốc độ vòng quay trục chính: 300 v/ph

- Tốc độ dịch chuyển của dụng cụ: 1 mm/s.



Hình 7. Mô phỏng quá trình miết (a); thực nghiệm quá trình miết (b); sản phẩm sau khi miết (c) [3]

Căn cứ vào mức độ khả quan của quá trình biến dạng cũng như hình thành chi tiết

sau khi mô phỏng (hình 7a), đã thực hiện chế tạo chi tiết trên máy miết [10] model



PNC-111 (hình 7b) với kích thước phôi và các thông số công nghệ tương tự quá trình mô phỏng. Kết quả nhận được chi tiết có kích thước và hình dáng tương đồng với chi tiết sau khi mô phỏng (hình 7c).

Như vậy, có thể khẳng định ứng dụng mô hình vật liệu Titan VT1-0 đã tìm được để mô phỏng các quá trình biến dạng dẻo cho kết quả hoàn toàn phù hợp với thực nghiệm. Đây chính là cơ sở để ứng dụng mô hình vật liệu Titan VT1-0 cho các loại vật liệu và các quá trình gia công áp lực khác, sau khi tiến hành nghiên cứu và mô phỏng đối với loại vật liệu cần ứng dụng.

3. Kết luận

3.1. Xây dựng được mô hình vật liệu của Titan VT1-0 trong dải nhiệt độ 20 - 800 °C và tốc độ biến dạng từ 0.001-0.1 với sai số nhỏ hơn 10%.

3.2. Ứng dụng phần mềm QForm VX với việc sử dụng mô hình vật liệu tìm được cho phép mô hình hóa chính xác quá trình miết, tạo cơ sở dữ liệu để ứng dụng vào các loại vật liệu khác.

3.3. Kết quả nghiên cứu nhận được tạo cơ sở để phát triển các quy trình công nghệ chế tạo chi tiết mỏng đối xứng trục bằng phương pháp biến dạng dẻo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Хензель А., Шпиттель Т. Расчет энергосиловых параметров в процессах обработки давлением: Справочник. - М.: Металлургия, 1982. - 360 с.

Ву Чонг Бач. Совершенствование технологии изготовления осесимметричных тонкостенных изделий на основе применения метода интенсивной пластической деформации: дис...к.т.н: 05.02.09 / Ву Чонг Бач. - М.: 2021, -134 с.

Vũ Trọng Bách, Đào Ngọc Diệp, Phạm Việt Hoàng. Ứng dụng mô hình vật liệu titan vt1-0 với cấu trúc hạt mịn để mô phỏng quá trình biến dạng dẻo. Tạp chí khoa học đại học Cửu Long, Số 36, 2024, 20-26.

Бач Ву Чонг. Повышение прочности технического титана VT1-0 методом интенсивной пластической деформации / Латыш В.В., Бурлаков И.А., Забельян Д.М., Алимов А.И., Петров П.А., Степанов Б.А., Бач Ву Чонг // Проблемы машиностроения и надежности машин, 2018, № 6, С. 54-60.

Chong, B.V. Increasing the strength of commercial titanium VT1-0 using the method of severe plastic deformation / V. V. Latysh, I. A. Burlakov, D. M. Zabel'yan, A. I. Alimov, P. A. Petrov, B. A. Stepanov, Bach Vu Chong // Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2018, Vol. 47, № 6, pp. 525-531.

Шипша В.Г. Металлы и сплавы справочник [Книга]. - Санкт-Петербург: Профессионал, Мир и Семья, 2003. - Т. 1089с.

Bach Wu Chong. yield curve determination of commercial fine-grained titanium VT1-0 / Burlakov I.A., Konstantinov D.A., Mangasaryan G.A., Petrov P.A., Bach Wu Chong // Workpiece production in mechanical engineering, № 2, 2020, pp. 69-74.

Бач Ву Чонг. Влияние температурно-скоростных режимов деформации на напряжение текучести технического титана VT1-0 / Бурлаков И.А., Костюков А.А., Петров П.А., Бач Ву Чонг // Международная научно-техническая конференция «машиностроение и техносфера XXI века». - Севастополь. - 2019.- С. 58-61.

Бач Ву Чонг. Определение кривых текучести технического титана VT1-0 с мелкозернистой структурой / Бурлаков И.А., Константинов Д.А., Мангасарян Г.А., Петров П.А., Бач Ву Чонг // Заготовительные производства в машиностроении. - № 2, - 2020. - С. 69-74.

Инструкция по эксплуатации станка PNC-111. 2002 г.

