

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH VẬT LIỆU TITAN VT1-0 VỚI CẤU TRÚC HẠT MỊN ĐỂ MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH BIẾN DẠNG ĐÉO

Vũ Trọng Bách¹, Đào Ngọc Điệp^{1*}, Phạm Việt Hoàng¹

Tóm tắt

Bài báo trình bày thực nghiệm chôn phôi Titan VT1-0 có kích thước 10x10mm và xây dựng mô hình vật liệu Titan VT1-0 có cấu trúc hạt mịn dựa trên tài liệu Hensel-Spitel và ứng dụng mô hình vật liệu này để mô hình hóa các quá trình biến dạng dẻo: chôn, chôn xoắn và miết bằng phần mềm Qform VX làm cơ sở để phát triển đối với các loại vật liệu khác cũng như các quá trình gia công áp lực.

Từ khóa: Mô hình hóa, Titan VT1-0, cấu trúc mịn, chôn xoắn, miết.

Abstract:

The paper presents the experimental results of Titan VT1-0 blanks with size 10x10mm and builds a Titan VT1-0 material model with ultrafine grain structure based on Hensel-Spitel document and applies this material model to model plastic deformation processes: further disturbance, further disturbance with torsion and spinning using Qform VX software as a basis for development for other materials as well as pressure machining processes.

Keywords: Modeling, VT1-0 titanium alloy, ultrafine grain structure, further disturbance with torsion, spinning.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay hầu hết các bài toán mô phỏng đều sử dụng mô hình vật liệu từ thư viện của phần mềm, và những mô hình vật liệu này chỉ ở dạng cơ bản chưa tính đến ảnh hưởng của các yếu tố như: ma sát, nhiệt độ của khuôn, phôi, tốc độ biến dạng, vì vậy mà cho kết quả chưa chính xác. Xuất phát từ thực trạng đó tác giả tiến hành thực nghiệm để xây dựng mô hình vật liệu Titan VT1-0 phục vụ để mô hình hóa các quá trình biến dạng dẻo nói riêng đối với vật liệu Titan và có thể ứng dụng mô hình này đối với các loại vật liệu khác nhau.

Mặt khác ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) cho phép nâng cao kỹ thuật chế tạo chi tiết; giảm chi phí thiết kế dụng cụ và độ phức tạp của quá trình hiệu chỉnh công nghệ tạo hình kim loại. Việc ứng dụng các phần mềm sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn, như: Qform, Autoform, Deform...luôn đảm bảo kết quả mô phỏng chính xác bởi dữ liệu ban đầu của vật liệu nghiên cứu.

Trong những năm gần đây, nghiên cứu giải pháp tăng bền của vật liệu khi biến dạng dẻo được trình bày bởi nhiều tác giả như: Kpokhi V. A. [1], Ogorodnikova V. A. [2] .v.v, trong đó các nghiên cứu quan trọng nhất được đề cập đến như: Henzel A. [3], V K. Smirnov

¹ Trường ĐH Cửu Long

* Người chịu trách nhiệm bài viết: Đào Ngọc Điệp (Email: daongocdiep@mku.edu.vn)

[4], Burlakov I.A [5]. Hầu hết các dữ liệu mà các nhà nghiên cứu nhận được về độ cứng của kim loại được giới hạn ở mức độ biến dạng 50-60%, trong khi trong các quy trình công nghệ phức tạp. Nghiên cứu hiện tại nhằm mục đích khắc phục các giới hạn này của các nghiên cứu trước đây và cho thấy ứng dụng thực tế của Titan VT1-0 khi áp dụng phương pháp chôn xoắn và miết.

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 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 biến dạng dẻo.

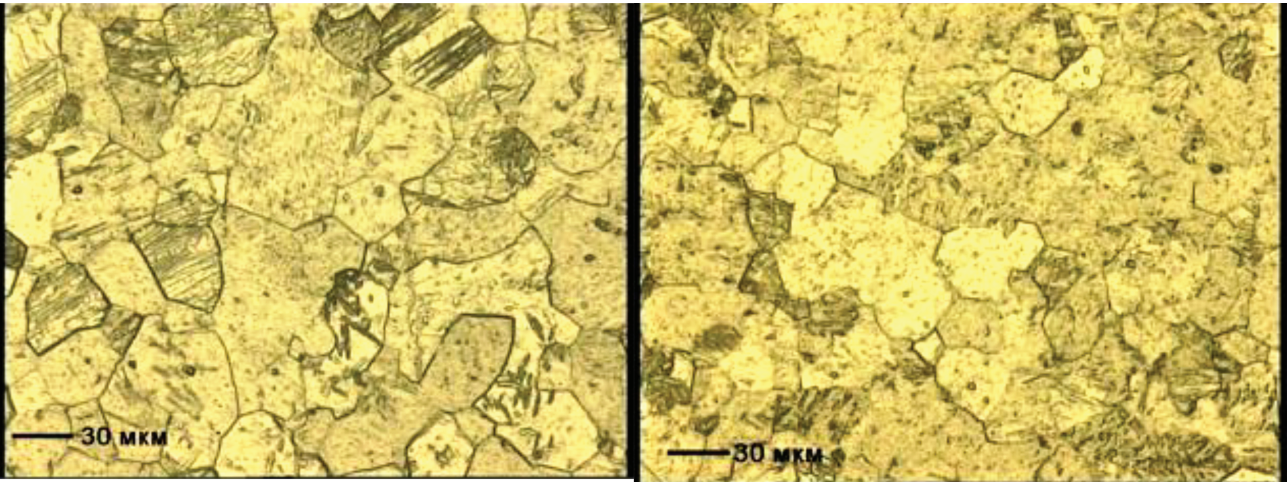
2.2. Nội dung nghiên cứu

- Tạo mẫu có cấu trúc hạt siêu mịn.
- Thực hiện thí nghiệm chôn, xoắn.
- Xây dựng mô hình vật liệu Titan VT1-0.
- Mô phỏng quá trình chôn thuần túy và quá trình chôn, xoắn và miết bằng phần mềm QForm VX.

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

2.3.1. Vật liệu

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), 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 [6-7]

Bảng 1 – Cơ-lý tính của Titan VT1-0 [8]

TT	Tên gọi	Đơn vị
1	Khối lượng riêng ρ , kg/m ³	$4,5 \times 10^{-3}$
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 $\sigma_{0,2}$, MPa	250–380
6	Độ dẫn dài δ , %	25–30
7	Độ co thắt tỉ đối ψ , %	50–60
8	Modul đàn hồi $E.10^{-3}$, MPa	110,25
9	Độ cứng, HB	103

2.3.2. Thiết bị và phương pháp nghiên cứu

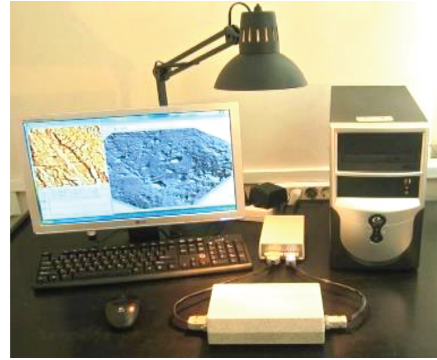
- Nghiên cứu tổ chức tế vi

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 (hình 2-a) và kính hiển vi CMM-2000 (hình 2-b).



a)

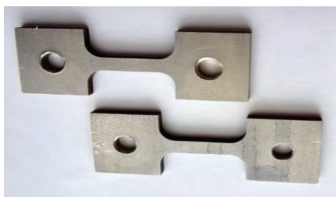


b)

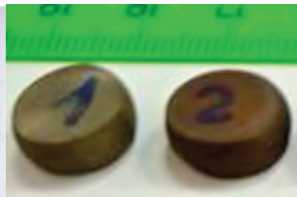
Hình 2. Kính hiển vi điện tử [9]

- Xác định cơ tính của vật liệu

Các mẫu kéo được gia công bằng phương pháp ăn mòn điện hóa và có tổng chiều dài là 42 mm và chiều dài của phần làm việc là 10 mm (hình 3-a) và khi nén - đường kính và chiều cao là 10 mm (hình 3-b). Thử nghiệm độ bền kéo được thực hiện trên máy kéo nén LFM50 ở tốc độ 2 mm/phút (hình 4-a) và được nén trên máy kéo nén LFM250 (hình 4-b) với các tốc độ biến dạng 0,001; 0,01; 0,1 1/s.



a)



b)

Hình 3. Mẫu kéo (a), nén (b) [9]



a)



b)

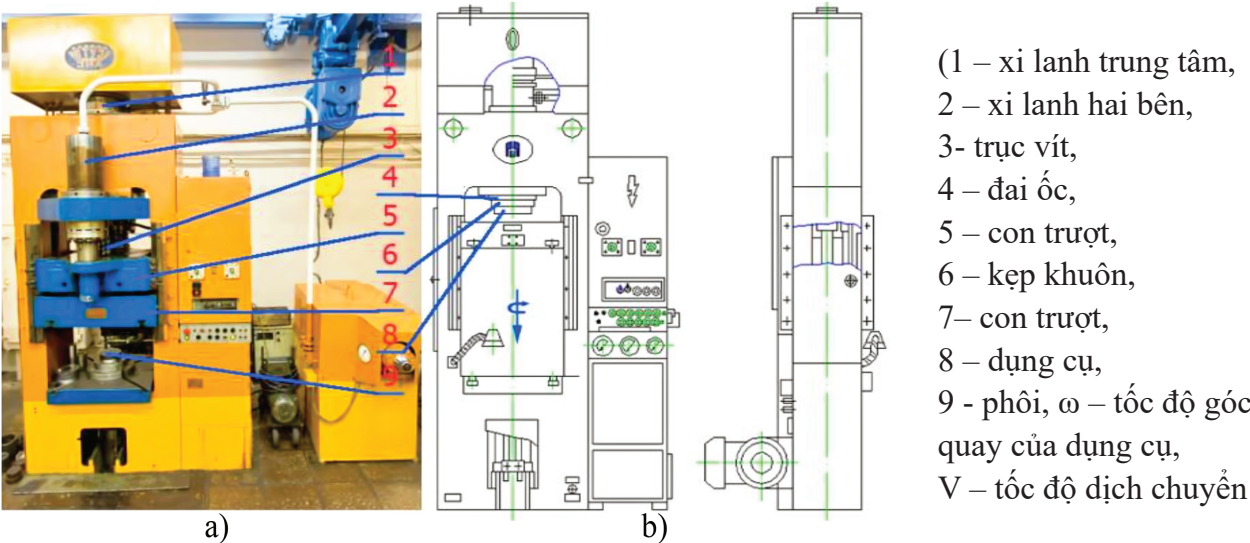
Hình 4. Máy kéo nén [9]

- Biến dạng tạo cấu trúc siêu mịn

Phôi có cấu trúc siêu mịn (UFG) nhận được bằng phương pháp rèn cường độ cao trên máy ép thủy lực PA2636. Rèn cường độ cao được thực hiện qua một số lần chồn 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 $e \sim 2,5$ (xác định theo sự giảm của kích thước hạt) [7].

- Chồn xoắn

Thực hiện chồn kết hợp xoắn phôi trên máy ép thủy lực model DB-2432 với lực lớn nhất 1.6 MN; nhiệt độ của phôi ($T_{\text{phôi}}$) = 20-300 °C; nhiệt độ của dụng cụ (T_{dc}) = 200-300 °C với vòng quay của dụng cụ từ 1-2 vòng. Phôi vừa tác động của lực dọc trục và mô men xoắn do sự quay của dụng cụ (hình 5) và quá trình chồn xoắn được thực hiện do sự dịch chuyển tương đối của đai ốc 4, được gắn vào con trượt phía trên 5 với đai ốc 3 ghép chặt với đế khuôn, vận tốc góc quay phụ thuộc vào hiệu số v_5 và v_7 của con trượt 5, 7.



Hình 5. Cấu tạo chung (a) và (b) sơ đồ thủy lực của máy [9]

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

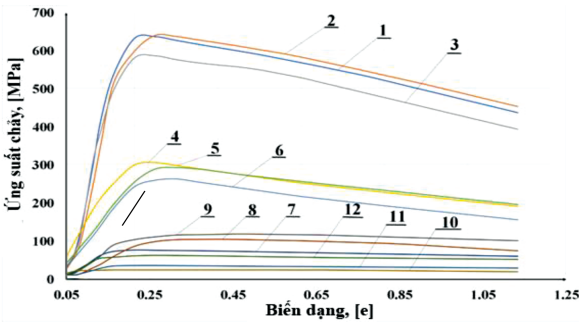
Phân tích trường nhiệt độ-mức độ biến dạng sau khi mô phỏng quá trình chèn, xoắn cho thấy kim loại bị nóng lên đáng kể, đặc biệt là nhiệt độ ở các vùng ngoại vi có thể lên tới hơn 600 °C. Do đó, để mô hình hóa chính xác các quá trình biến dạng cần phải xây dựng mô hình vật liệu trong khoảng nhiệt độ 20 - 800 °C với tốc độ biến dạng nằm trong khoảng 0,001-0,1 1/s. Kết quả thí nghiệm để nhận mô hình vật liệu được trình bày trên hình 6.

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 (1/s) và ở nhiệt độ 20, 400, 600 và 800 °C

Xử lý dữ liệu thực nghiệm, sau khi chèn đẳng nhiệt phôi Titan VT1-0, cho phép xây dựng mô hình vật liệu theo tài liệu Hensel-Spittel [10], nhận được mối quan hệ phụ thuộc giữa ứng suất chảy σ_i và các tham số cơ, nhiệt:

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

Trong đó, A, m_1 , m_2 , m_3 , m_4 , m_5 , m_7 , m_8 , m_9 – các hệ số được tính bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất trong chương trình MatLab [9]. Sau khi tính toán ta nhận được kết quả được thể hiện trong bảng 2.



Hình 6. Đường cong bền của Titan VT1-0 [9]

Bảng 2. Hệ số toán học của mô hình

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

2.5. Mô hình hóa các quá trình biến dạng

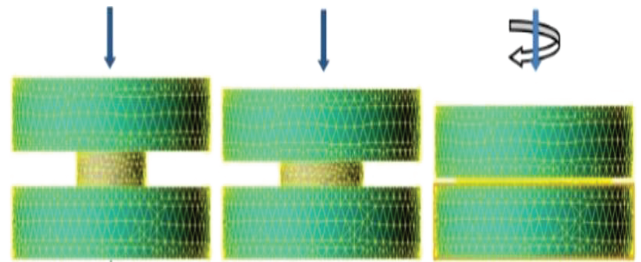
Áp dụng mô hình vật liệu được tìm thấy từ phương trình (1) vào phần mềm Qform VX để mô phỏng các quá trình biến dạng tạo hình (chèn xoắn, miết).

2.5.1. Mô hình hóa quá trình chèn xoắn

Thực hiện mô phỏng quá trình chèn, chèn xoắn với sơ đồ được thể hiện trên hình 7 và có các thông số công nghệ như sau:

- Nhiệt độ phôi 20 °C;
- Nhiệt độ dụng cụ 300 °C;
- Góc xoắn 2 vòng;
- Hệ số ma sát: 0,8

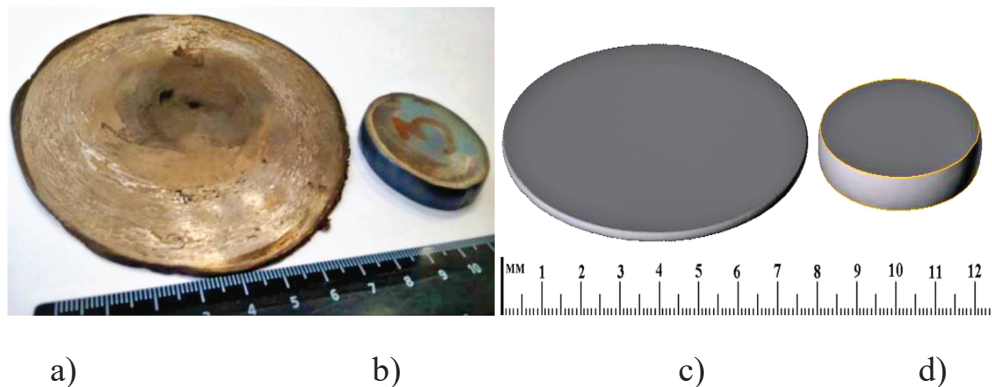
- Tốc độ chuyển động của dụng cụ 1 mm/s.



Hình 7. Trình tự biến dạng của phôi trụ

(a - vị trí ban đầu; b – chèn không xoắn; c – chèn xoắn)

Kết quả của mô phỏng quá trình chèn không xoắn và chèn xoắn với mô hình vật liệu tìm được và quá trình thực nghiệm được trình bày trên hình 8-a, b và bảng 3.



Hình 8. Phôi có tổ chức siêu mịn sau biến dạng và kết quả mô phỏng [9]

(a – phôi thí nghiệm sau khi chèn xoắn, b – phôi thí nghiệm sau khi chèn không xoắn, c – phôi sau khi mô phỏng chèn xoắn, d – phôi sau khi mô phỏng chèn không xoắn)

Bảng 3. Kết quả sau khi biến dạng và mô phỏng của mẫu [9]

(P-lực; M-mômen; H-chiều cao sau biến dạng; D-đường kính phôi sau biến dạng).

TT	Dạng biến dạng	Thực nghiệm				Mô phỏng			
		P, kN	M, kN.m	H, mm	D, mm	P, kN	M, kN.m	H, mm	D, mm
1	Chèn xoắn	849	12,4	1,7-2	82-85	786	14,6	2	78,6
2		849	12,4	1,5-2	84-90	786	14,6	2	78,6
3		849	12,4	1,5-2	81-89	786	14,6	2	78,6
4	Chèn không xoắn	1167	-	7,2-7,5	40-41	1253	-	7	42
5		1167	-	7,2-7,5	40-41	1253	-	7	42

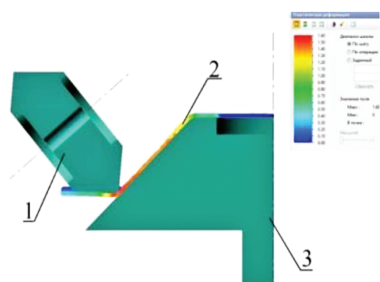
Từ kết quả mô phỏng và thực nghiệm trên hình 8 và bảng 3, có thể thấy rằng quá trình thực nghiệm và mô hình hóa có sự khác biệt không lớn chỉ khoảng 4% về các thông số hình học và 1% về lực biến dạng. Như vậy có thể kết luận là mô hình vật liệu xây dựng hoàn toàn phù hợp cho các quá trình biến dạng dẻo đối với vật liệu là Titan VT1-0. Đây chính là cơ sở để xác định các thông số công nghệ hợp lý và các đặc tính cần thiết của phôi. Các kết quả thu được có thể được sử dụng để giải quyết các vấn đề công nghệ và nhằm mục đích cải tiến quy trình sản xuất nâng cao chất lượng

của phôi và có thể ứng dụng mô hình này đối với các vật liệu khác.

2.5.2. Mô hình hóa quá trình miết

Sử dụng mô hình vật liệu tìm được để mô hình hóa quá trình miết với các thông số như sau:

- Đường kính phôi: 90 mm
- Chiều dày phôi: S_0 : 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



a)



b)



c)

Hình 9. Mô hình hóa quá trình miết (a); thực nghiệm quá trình miết (b); sản phẩm sau khi miết (c)

Căn cứ vào mức độ khả quan của quá trình biến dạng cũng như hình thành chi tiết sau khi mô phỏng, đã thực hiện chế tạo chi tiết trên máy miết model PNC-111 (hình 9b) 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 9c).

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.

Kết luận

- 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, làm cơ sở về vật liệu cho các quá trình mô phỏng.

- 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 chèn không xoắn, chèn xoắn và quá trình miết, tạo cơ sở dữ liệu để ứng dụng vào các loại vật liệu khác.

- 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

- [1]. Кроха В.А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации.-М.: Машиностроение, 1980. – 157 с.
- [2]. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. – Киев: Вища школа 1983.- 175 с.
- [3]. Хензель А., Шпиттель Т. Расчет энергосиловых параметров в процессах обработки давлением: Справочник. – М.: Металлургия, 1982. – 360 с.
- [4]. Смирнов В.К., Харитонин С.В., Степаненко В.И., Литвинов К.И. Аппроксимация экспериментальных данных по сопротивлению деформации алюминиевых сплавов. // Известия ВУЗов. Цветная металлургия. 4 (1997) стр.36-38.
- [5]. 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.
- [6]. Бач Ву Чонг. Повышение прочности технического титана VT1-0 методом интенсивной пластической деформации / Латыш В.В., Бурлаков И.А., Забелян Д.М., Алимов А.И., Петров П.А., Степанов Б.А., Бач Ву Чонг // Проблемы машиностроения и надежности машин, 2018, № 6, С. 54-60.
- [7]. Bach Vu Chong. 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.
- [8]. Шипша В.Г. Металлы и сплавы справочник [Книга]. - санкт-петербург : Профессионал, Мир и Семья, 2003. - Т. 1089с.
- [9]. 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.
- [10]. Хензель А., Шпиттель Т. Расчет энергосиловых параметров в процессах обработки металлов давлением: Справ. изд. пер. с нем. М.: Металлургия, 1982, 360 с.