



**Universitatea Tehnică a Moldovei**

# **Tehnologii de debitare-perforare cu get abraziv**

**Teză de master**

**Ingineria Produsului și a procesului în Construcții de  
Mașini**

**Student:**

**PRUTEANU**

**Damian**

**Coordonator:**

**MAZURU Sergiu**

**prof. univ. dr. hab.**

**Chișinău, 2026**

Cuprins	8
PARTEA I: Fundamente teoretice și de context	8
Capitolul 1. Introducere	8
1.1. Prezentarea temei și motivația cercetării.	8
1.1.1. Importanța tehnologiilor neconvenționale de prelucrare.	9
1.1.2. Avantajele AWJ: lipsa zonei afectate termic, capacitatea de a prelucra materiale dure și fragile, flexibilitate.	10
1.1.3. Probleme și limite ale procesului: rugozitate, unghi de conicitate, uzura duzei, zgomot. Remediere.	10
1.1.4. Identificarea golului din literatură și a obiectivelor tezei.	11
1.2. Obiectivele și structura tezei.	12
1.2.1. Enunțarea clară a obiectivelor principale și specifice.	12
1.2.2. Prezentarea pe scurt a structurii lucrării.	13
Capitolul 2: Starea actuală a cunoștințelor în domeniul AWJ.	13
2.1. Istoric și evoluția tehnologiei cu jet de apă și jet abraziv.	13
2.2. Principiul de funcționare și componentele sistemului AWJ.	14
2.2.1. Generator de înaltă presiune (pompă, intensificator).	16
2.2.2. Sistemul de alimentare cu abraziv.	17
2.2.3. Duzele (focalizare, de amestec) – materiale, geometrii, durabilitate.	18
2.2.4. Sistemul de comandă și mișcare CNC.	19
2.2.5. Sistemul de colectare a reziduurilor.	20
2.3. Mecanisme de eroziune și de formare a crăpăturilor în materiale diferite.	21
2.3.1. Materiale ductile vs. materiale fragile.	22
2.3.2. Rolul particulelor abrazive.	23
2.4. Parametrii procesului de debitare-perforare AWJ și influența lor.	24
2.4.1. Parametri hidraulici: Presiunea de lucru, diametrul duzei focale, debitul de apă.	24
2.4.2. Parametri abrazivi: Tipul abrazivului (garnet, olivina etc.), granulatia, debitul masic.	25
2.4.3. Parametri de comandă: Viteza de avans (travers speed), unghiul de incidență, distanța duză-piesă (stand-off distance).	25
2.4.4. Parametri ai materialului: Rezistența mecanică, duritatea, tenacitatea.	26
2.5. Indicatori de performanță și calitate ai procesului.	26
2.6. Aplicații industriale ale AWJ.	28
PARTEA a II-a: Cercetare Proprie-Zisă.	34

Capitolul 3: Metodologia și infrastructura experimentală.	34
3.1. Descrierea instalației experimentale AWJ utilizate.	34
3.2. Materialele studiate și caracterizarea lor.	37
3.3. Proiectarea experimentală.	39
3.4. Metode și echipamente de măsurare și caracterizare .	41
Capitolul 4: Rezultate experimentale și discuții	43
4.1. Analiza influenței parametrilor procesului asupra răspunsurilor.	43
4.1.1. Prezentare sistemată a rezultatelor.	43
4.1.2. Influența presiunii și a vitezei de avans asupra rugozității.	45
4.2. Analiza statistică a datelor.	48
4.2.1. Analiza varianței (ANOVA) pentru identificarea parametrilor semnificativi.	48
4.2.2. Construcția de modele matematice empirice (de regresie) între factori și răspunsuri.	49
4.3. Studiul morfologiei și mecanismelor de eroziune.	50
4.3.1. Analiza imaginilor SEM.	51
4.3.2. Corelarea morfologiei cu parametrii procesului.	53
4.3.3. Discuții critice ale rezultatelor în contextul literaturii existente.	53
Capitolul 5: Optimizarea procesului și propuneri de îmbunătățire.	56
5.1. Utilizarea modelelor matematice pentru optimizarea multi-răspuns. Definirea funcției scop.	56
5.2. Aplicarea unor tehnici de optimizare.	58
5.3. Propuneri practice pentru stabilirea regimurilor optime de lucru pentru materialele studiate.	59
5.4. Sugestii pentru îmbunătățirea instalației sau a procedului.	60
PARTEA a III-a: Concluzii și perspective.	62
Capitolul 6: Concluzii și contribuții personale.	62
6.1. Rezumatul celor mai importante constatări.	62
6.2. Îndeplinirea obiectivelor stabilite în Introducere.	63
6.3. Enumerarea clară a contribuțiilor originale ale tezei.	64
6.4. Limitările cercetării curente.	65
Capitolul 7. Perspective și recomandări pentru cercetări viitoare.	66
Bibliografie.	68

## Rezumat

PRUTEANU DAMIAN. Tehnologii de debitare-perforare cu get abraziv. Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea de Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi; Departamentul Ingineria Fabricației; 2025.

Teză de master: pag. - 71, surse bibliografice – 35.

Lucrarea abordează optimizarea procesului de debitare cu jet de apă abraziv (AWJ), o tehnologie neconvențională utilizată pentru tăierea materialelor dure și fragile fără impact termic. Sunt analizate principiile de funcționare, parametrii tehnologici și influența lor asupra calității suprafeței. Partea experimentală include teste pe oțel inoxidabil, aluminiu, compozite și granit, urmate de modele matematice și analize statistice (ANOVA) pentru identificarea factorilor semnificativi. Rezultatele permit stabilirea regimurilor optime și propun soluții pentru îmbunătățirea instalației, inclusiv optimizare multi-răspuns. Concluziile evidențiază aplicabilitatea industrială și direcții viitoare precum integrarea controlului adaptiv și utilizarea algoritmilor de optimizare.

**Cuvinte-cheie:** tehnologii, fabricare, get abraziv, calitate, control, proces.

## Summary

PRUTEANU DAMIAN. Abrasive Water Jet Cutting and Drilling Technologies. Technical University of Moldova, Faculty of Mechanical, Industrial and Transport Engineering; Department of Manufacturing Engineering; 2025.

Master's Thesis: 71 pages, 35 bibliographic sources.

The thesis addresses the optimization of the abrasive water jet (AWJ) cutting process, a non-conventional technology used for machining hard and fragile materials without thermal impact. It analyzes the operating principles, technological parameters, and their influence on surface quality. The experimental section includes tests on stainless steel, aluminum, composites, and granite, followed by mathematical models and statistical analyses (ANOVA) to identify significant factors. The results allow the determination of optimal cutting regimes and propose solutions for improving the equipment, including multi-response optimization. The conclusions highlight industrial applicability and future directions such as the integration of adaptive control and the use of optimization algorithms.

**Keywords:** technologies, manufacturing, abrasive jet, quality, control, process.

## Introducere

Tehnologiile neconvenționale de prelucrare (TN) sunt cruciale pentru că permit prelucrarea materialelor greu prelucrabile (dure, refractare, complexe) și obținerea unor geometrii complexe/precizie înaltă, acolo unde metodele tradiționale eșuează, prin îndepărtarea materialului prin fenomene fizico-chimice sau termice, nu mecanice, deschizând noi posibilități în industrii cheie (aerospațial, medical, energetic).

Prin urmare tehnologiile neconventionale fac posibilă depășirea limitelor tradiționale. Permit prelucrarea materialelor cu duritate extremă, refractare sau compozite, unde sculele mecanice se uzează rapid sau sunt ineficiente (ex: aliaje de titan, ceramică).

Elimină contactul mecanic direct, reducând uzura sculei și deformările piesei, esențial pentru piese de înaltă precizie.

Tehnologiile neconventionale permit obținerea geometriilor complexe și preciziilor înalte. Realizează forme intricate, cavități, microstructuri și rugozități specifice (microasperități) imposibil de obținut prin așchiere convențională.

Asigură toleranțe dimensionale și de formă foarte stricte, critice pentru componente de înaltă performanță.

Tehnologia cu jet de apă utilizează un jet de apă de mare viteză cu particule abrazive adăugate pentru a tăia diverse materiale, cum ar fi metal, piatră, sticlă, plastic și altele.

Unele lacune în literatura de specialitate privind tehnologiile cu jet de apă:

Înțelegere insuficientă a proceselor de deformare și rupere a materialelor sub impacturi repetate ale particulelor pe suprafața piesei de prelucrat.

Lipsa modelelor matematice pentru calcularea presiunii minime necesare pentru descompunerea unui strat de coroziune, ținând cont de proprietățile fizice și mecanice ale materialului care este spart.

Utilizarea relațiilor empirice care sunt aplicabile numai condițiilor specifice pentru care au fost derivate.

Utilizarea modelelor teoretice de interacțiune jet-obiect, care nu descriu pe deplin imaginea fizică reală a procesului de curățare prin sablare studiat.

# Bibliografie.

- [1] Llanto J.M. et al., Analysis and Optimization of Process Parameters in Abrasive Waterjet Contour Cutting of AISI 304L, Metals, 2021.  
<https://www.mdpi.com/2075-4701/11/9/1362>
- [2] Llanto J.M. et al., Impacts of Traverse Speed and Material Thickness on Abrasive Waterjet Contour Cutting of AISI 304L, Applied Sciences, 2021.  
<https://www.mdpi.com/2076-3417/11/11/4925>
- [3] Sun S. et al., Improving the cutting quality of aluminum alloy machined by abrasive waterjet with a relatively low pressure, Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2023.  
<https://rd.springer.com/content/pdf/10.1007/s40430-023-04306-7.pdf>
- [4] Rowe A. et al., Effects of Abrasive Waterjet Machining on CFRP surface/kerf quality, Machines, 2023.  
<https://www.mdpi.com/2075-1702/11/7/749>
- [5] Karthick Rasu K. et al., Investigation of kerf taper angle and surface roughness in AWJ-machined GFRP, Advanced Engineering Letters, 2025.  
<https://www.adeletters.com/journals/2025/ADEL0076.pdf>
- [6] Aydin G. et al., Improvement of Rock Cutting Performance through Two-Pass AWJ Cutting, Sustainability, 2022. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/19/12704>
- [7] Cha Y. et al., Granite cutting performance depending on traverse speed in AWJ multi-cutting, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2024.  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-024-13571-2>
- [8] Liu F. et al., Cutting efficiency of extremely hard granite by high-pressure water jet; energy-based depth prediction, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2024. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10064-024-03586-0>
- [9] Система ЧПУ станки гидроабразивной резки  
[https://www.headwaterjet.ru/news-in\\_190.html](https://www.headwaterjet.ru/news-in_190.html)
- [10] Особенности технологии гидроабразивной резки камня  
<https://lidtechnology.ru/stati/osobennosti/tekhnologiya-gidroabrazivnoy-rezki-kamnya/>
- [11] ГИДРОАБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ - Студенческий научный форум  
<https://scienceforum.ru/2016/article/2016021538?ysclid=mka4xfcw1179227569>

- [12] Какие материалы режет гидроабразив — резка в СПб <https://xn----7sbenks1bco.xn--p1ai/osobennosti-tehnologii/>
- [13] Research Progress in Abrasive Water Jet Processing Technology  
Hongqi Wang et al., Micromachines, 2023.
- [14] A four-decade of abrasive waterjet processing technology (1980–2023): a scientometric analysis N. Lusi et al., MFR, 2025.
- [15] A Review of Abrasive Water Jet Cutting Technology for Composite Materials  
X. Xue et al., Mechanics and Advanced Technologies, 2025.
- [16] Perspective study of abrasive water jet machining of composites – a review  
A.K. Dahiya, B.K. Bhuyan, S. Kumar, Journal of Mechanical Science and Technology, 2022.
- [17] Monitoring Equipment Malfunctions in Composite Material Machining: Acoustic Emission-Based Approach for AWJ I.A. Popan et al., Applied Sciences, 2024.
- [18] Experimental research possibilities of monitoring the AWJ cutting process using a strain sensor K. Lis, T. Wala, IJMMT, 2020.
- [19] Numerical Modeling and Experimental Study on Ultrasonic Vibration-Assisted AWJ Z. Cheng et al., Frontiers in Materials, 2022.
- [20] Optimization of AWJ nozzle design using compressible multiphase CFD modeling C. Narayanan et al., ASCOMP AG, 2023.
- [21] Coifu, Iu., Nițulenco, T., Bolunduț, I.-L., Toca, A. Studiul și Ingineria Materialelor (materiale nemetalice). Sticla. Chisinau, Editura UTM, 2014, 256 pag. ISBN 978-9975-45-301-1. <http://repository.utm.md/handle/5014/23651>
- [22] Coifu, Iu., Nițulenco, T., Bolunduț, I.-L., Toca, A. Studiul și Ingineria Materialelelo (materiale metalice). Chișinău U.T.M., 2012. -467 p. ISBN 978-9975-45-261-8. <http://repository.utm.md/handle/5014/15857>
- [23] Coifu, Iu., Nițulenco, T., Bolunduț, I.-L., Toca, A. Simbolizarea materialelor metalice în sistemele de standarde GOST (Rusia), STAS (România) și EN (Uniunea Europeană). Editura TEHNICA UTM, Chișinău, 2013. - 256 p. ISBN 978-9975-45-261-8. <http://repository.utm.md/handle/5014/15775>
- [24] Toca, A., Nitulenco T., Ciuperca R. Analiza sistemică și funcțională. Chișinău U.T.M., 2022. -280 p. ISBN 978-9975-45-767-5. <http://repository.utm.md/handle/5014/19384>
- [25] JAVGUREANU, Vasile, GORDELENCO, Pavel. Some elastoplastically deformation and failure composite iron - nickel coatings. In: Meridian Ingineresc. 2013, nr. 4, pp. 78-81. ISSN 1683-853X. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/29743](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/29743).

[26] JAVGUREANU, Vasile, GORDELENCO, Pavel. Study of physical and mechanical properties of iron-nickel composite coatings macro indentation. In: Meridian Ingineresc. 2013, nr. 4, pp. 41-45. ISSN 1683-853X. [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/29745](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/29745).

27. Volodymyr KUKHAR, Elena BALALAYEVA, Hlib KHLIESTOV, Olha KHLIESTOVA. Analysis of technological regimes of open-die forging with model development for digital systems of metallurgical production. U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 88, Iss. 2, 2026. Pp. 227-240. ISSN 1454-2358.

28. Volodymyr V. Kukhar, Khrystyna V. Malii, Natalia S. Hrudkina and Eleonora O. Butenko. Identification of Early Degradation Mechanisms in Zinc Coating on Cold-Formed Steel Sections Through Analysis of the Production–Storage Chain. The International Conference on Advanced Mechanical and Power Engineering (CAMPE 2025), October 20–21, 2025, Kharkiv, Ukraine. pp. 179-189. ISSN 2195-4364. <https://doi.org/10.1007/978-3-032-16381-3>.

29. Volodymyr Kukhar, Andrii Kostryzhev, Oleksandr Dykha, Oleg Makovkin, Ihor Kuziev, Roman Vakulenko, Viktoriia Kulynych, Khrystyna Malii, Eleonora Butenko, Natalia Hrudkina, Oleksandr Shapoval, and Oleksandr Hrushko. Technological and Chemical Drivers of Zinc Coating Degradation in DX51d+Z140 Cold-Formed Steel Sections. Journals Metals. Volume 16 issue 2, 37 p., 2026. <https://doi.org/10.3390/met16020146>.

30. Mihail BÎCIOC, Sergiu MAZURU. Practical aspects regarding optimization of three axis CNC machining. Materials Research Proceedings. Volume 61. Pages 58-66. <https://doi.org/10.21741/9781644903995-8>.

31. Valeriu Dulgheru, Radu Ciobanu, Oleg Ciobanu, Iulian Malcoci, Sergiu Mazuru, Nicolae Trifan, Dumitru Vengher. Planetary Precessional Transmission: Geometry and Contact Bearing Capacity. Jurnal Countering Hybrid Threats Against Critical Infrastructures. 2025.

32. Ion Bostan, Viorel Bostan, Maxim Vaculenco, Ion Bodnariuc, Sergiu Mazuru, Valeriu Dulgheru, Radu Ciobanu, Oleg Ciobanu, Iulian Malcoci, Nicolae Trifan, Dumitru Vengher, Alina Bregnova. Planetary precessional transmission: geometry and contact bearing capacity, kinematics and profile generation. Book The International Conference on Strategic Innovative Marketing and Tourism. Springer Netherlands. Pp. 275-355.. 2024.

33. Mazuru Sergiu. Metode și procedee de fabricare aditivă. Editura Tehnica-UTM, ISBN: 978-9975-45-741-5, 2021, 144 p.

34. BOSTAN Viorel, BOSTAN Ion, MAZURU Sergiu, VACULENCO Maxim, LEALIN Stanislav, BREGNOVA Alina. Precessional planetary transmissions. Brevet de invenție B.I. 4910. BOPI nr. 12/2024.

35. BOSTAN Viorel, BOSTAN Ion, MAZURU Sergiu, VACULENCO Maxim. Precessional planetary transmissions. Brevet de invenție B.I. 4911. BOPI nr. 12/2024.