



Universitatea Tehnică a Moldovei

**Proiectarea prin inginerie inversă și elaborarea
tehnologiei de prelucrare CNC a perechii conice
din puntea spate a troleibuzului**

Teză de master

Ingineria Produsului și a procesului în Construcții de Mașini

Student:

ROȘCA Marcel

Coordonator:

dr. Stroncea Aurel.

Chișinău, 2026

REZUMAT

Roșca Marcel. Proiectarea prin inginerie inversă și elaborarea tehnologiei de prelucrare CNC a perechii conice din puntea spate a troleibuzului. Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea de Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi; departamentul Ingineria Fabricației; 2026. Memoriu explicativ: pag.43 ; desene 2 ; tabele 5 .

Lucrarea de față propune o abordare contemporană de recuperare a pieselor de schimb pentru sistemele de tracțiune ale transportului electric urban, examinând problema semnificativă a lipsei de piese de schimb. Subiectul principal se concentrează pe recondiționarea și fabricarea prin tehnologii digitale a perechii conice din puntea spate a troleibuzului, care este un organ de mașină care este supus unor solicitări mecanice ridicate și unei uzuri ridicate. Cercetarea se concentrează pe integrarea a două piloni tehnologici de ultimă generație: inginerie inversă (Reverse Engineering) și fabricație pe centru de prelucrare CNC în cinci axe. În primul rând, geometria complexă a danturii spirale a fost digitizată utilizând scannerul laser HandySCAN 3D de înaltă precizie. Aceasta a permis capturarea detaliilor microgeometrice, care au fost apoi procesate parametric pentru a corecta diferențele cauzate de uzură care a apărut în timpul procesului .

Cuvinte-cheie: proiectare, fabricare, centru de prelucrare CNC, calitate, control, proces.

Abstract

Roșca Marcel. Reverse engineering design and development of CNC machining technology for the conical pair in the rear axle of the trolleybus. Technical University of Moldova, Faculty of Mechanical, Industrial and Transport Engineering; Department of Manufacturing Engineering; 2026. Explanatory memorandum: page 43 ; drawings 2 ; tables 5 .

This paper proposes a contemporary approach to the recovery of spare parts for traction systems of urban electric transport, examining the significant problem of the lack of spare parts. The main subject focuses on the reconditioning and manufacturing through digital technologies of the conical pair in the rear axle of the trolleybus, which is a machine organ that is subject to high mechanical stress and high wear. The research focuses on the integration of two state-of-the-art technological pillars: reverse engineering and manufacturing on a five-axis CNC machining center. First, the complex geometry of the helical gear was digitized using the high-precision HandySCAN 3D laser scanner. This allowed the capture of micro-geometric details, which were then parametrically processed to correct for differences caused by wear that occurred during the process.

Keywords: design, manufacturing, CNC machining center, quality, control, process.

CUPRINS

INTRODUCERE

1. CONTEXTUL TEHNIC AL PROIECTULUI

1.1. Prezentarea temei

1.2. Rolul și importanța perechii conice în puntea spate a troleibuzelor

1.3. Oportunitatea aplicării ingineriei inverse și a optimizării procesului de fabricație

2. INGINERIA INVERSĂ A PERECHII CONICE

2.1. Principii și etapele procesului de inginerie inversă

2.2. Tehnologii și instrumente de digitalizare 3d

2.3. Extracția parametrilor geometrici critici ai dinților

2.4. Procedură de pregătire:

2.4.1 Protocol de măsurare

2.5. Date măsurate și validare

2.6. Generare Model CAD 3D

3. ANALIZA MATERIALELOR ȘI TRATAMENTELE TERMICE

3.1. Materiale utilizate la fabricația roților dințate

3.2. Rolul tratamentele termice în îmbunătățirea proprietăților mecanice

3.1.1. Cementarea

3.1.2. Niturarea

3.3. Metodologii de măsurare a adâncimii stratului călit

4. OPTIMIZAREA PROCESULUI DE FABRICAȚIE PRIN TEHNOLOGII MODERNE

4.1. Tehnologii substructive avansate

4.2. Analiza și optimizarea pentru prelucrare CNC

4.2.1 Strategii de prelucrare

4.2.2 Selectarea Sculelor de Tăiere

4.2.3 Planul de Operații

4.2.4 Programul CNC Complet - Fragmentul Principal

4.3. Procese de fabricație a perechii conice

4.4. Compararea Proceselor de Fabricație și Criterii de Alegere

4.4.1. Prelucrarea prin aşchiere (Tehnologii Substructive)

4.5. Detalii privind Prelucrarea pe Mașini CNC cu 5 Axe

5. CALCULE ECONOMICE ȘI ADAOSURI DE PRELUCRARE

5.1. Analiza Economică a Procesului de Fabricație

5.2. Adaosuri de Prelucrare pe Fluxul Tehnologic

6. ANALIZA MODURILOR DE DETERIORARE A DANTURII

7. CALCULE DE PROIECTARE ȘI VERIFICARE

7.1. Metoda angrenajului de înlocuire

7.2. Verificarea la Solicitări și Dimensionare

7.3. Diametrul exterior de divizare (de₁):

7.4 Verificarea la Solicitări (Încovoiere la baza dintelui)

8. ASIGURAREA CALITĂȚII ȘI METROLOGIA LA NIVEL DE EXPERTIZĂ

8.1. standarde de precizie și toleranțe pentru angrenajele conice

8.2. Echipamente avansate pentru inspectia geometriei

8.3. Implementarea unui plan de control integrat

9. INTEGRAREA TEHNOLOGIILOR INDUSTRIEI 4.0

9.1. Conceptul de "digital twin" în fabricarea roților dințate

9.2. Aplicații ale geamănului digital în ciclul de viață al componentei

9.3. Beneficiile implementării

10. CONCLUZII

10.1. Sinteza principalelor constatări

10.2. O abordare propusă pentru dezvoltarea ulterioară a tezei

10.3. Direcții de cercetare viitoare

BIBLIOGRAFIE

INTRODUCERE

Lucrarea de față abordează problematica complexă a mentenanței și fabricării componentelor mecanice critice pentru transportul electric urban, cu o aplicare directă asupra sistemelor de transmisie ale troleibuzelor. Într-o eră marcată de tranziția către mobilitatea durabilă, fiabilitatea vehiculelor de transport în comun depinde fundamental de integritatea organelor de mașini supuse unor solicitări extreme. Dintre acestea, perechea conică din puntea spate reprezintă elementul central al transmisiei, având rolul de a prelua și multiplica cuplul motorului electric, asigurând tracțiunea vehiculului.

Uzura prematură a danturii, cauzată de regimurile intense de exploatare (porniri-opriri frecvente, variații de sarcină), conduce adesea la imobilizarea vehiculelor. Această problemă este amplificată de dificultatea procurării pieselor de schimb originale (OEM), mai ales pentru modelele de troleibuze ieșite din perioada de garanție sau a căror producție de serie a încetat. În acest context, Ingineria Inversă (Reverse Engineering) devine o soluție tehnologică vitală, permițând reconstrucția digitală și fizică a componentelor indisponibile.

Relevanța pentru Republica Moldova În contextul specific al Republicii Moldova, transportul electric constituie coloana vertebrală a mobilității urbane, în special în municipiile Chișinău și Bălți. Parcul rulant eterogen, compus atât din unități moderne, cât și din vehicule cu o durată mare de exploatare, generează provocări logistice majore pentru regiile de transport (RTEC). Dependența de importurile costisitoare pentru componentele punților spate afectează bugetele locale și disponibilitatea flotei. Prin urmare, dezvoltarea capacității interne de a reconșiona și fabrica aceste repere prin tehnologii digitale nu reprezintă doar o inovație tehnică, ci o necesitate strategică pentru securitatea și eficiența transportului public național.

Obiectivul principal al lucrării constă în elaborarea unui flux tehnologic integrat, care pleacă de la scanarea 3D a piesei uzate și ajunge la produsul finit, gata de montaj. Utilizarea scannerului HandySCAN 3D asigură precizia metrologică necesară reconșției profilului evolventic al danturii, eliminând erorile de măsurare manuală.

Noutatea lucrării rezidă în trecerea de la metodele convenșionale de danturare la utilizarea centrelor de prelucrare universale în 5 axe, precum Haas UMC-750. Această abordare oferă o flexibilitate ridicată atelierelor de mentenanță, permițând prelucrarea suprafeșelor complexe dintr-o singură prindere. Studiul include, de asemenea, analiza riguroasă a materialului (18CrNiMo7-6) și a tratamentelor termice de cementare și călire, esenșiale pentru atingerea durabilității necesare.

• BIBLIOGRAFIE

1. Toca, A., Stroncea, A., Rusica, I. *Proiectarea dimensional optimală a tehnologiilor de prelucrare mecanică*. Chișinău: Tehnica-UTM, 2019. – 60 p. ISBN 978-9975-45-598-5.
2. Gorbațevici A.F., Șkred V.A. *Kursovoe proektirovanie po tehnologii mașinostroenia*. Uceb. posobie dlea mașinostroitelinîh speț. vuzov. – 4-e izd., pererab. i dop. – Mn.: Vâș. skola, 1983. – 256 s., il.
3. Picoș, C., Pruteanu, O., Bohosievici, C. Coman, Gh., Braha, V., Paraschiv, Dr., Slatineanu, L., Gramescu, Tr., Marin, A., Ionesii, V., Toca, A. *Proiectarea tehnologiilor de prelucrare mecanică prin așchiere. Manual de proiectare*. Vol. 1. Chișinău, Universitas, 1992 - 640 p. ISBN 5-362-00970-2.
4. Balabanov A.N. *Kratkii spravocinik tehnologa – mașinostroitelea*. – M.: Izdatelistvo standartov, 1992. – 464 s.
5. Domete Gr., Druțu C., Plahteanu B., Botez A. *Mașini – unelte și sisteme de mașini*. – Ch.: Știința, 1992. – 338 p.
6. Efimov V.A., Anisovici G.A., Babici V.N. i dr. *Spețialinîe sposobi litia. spravocinik / Pod obș. red. Efimova V.A.* – M.: Mașinostroenie, 1991. – 436 s., il.
7. *Spravocinik tehnologa–mașinostroitelea*. V 1-h t. T.1. / Pod. red. Kosilovoi A.G. i Meșcereakova R.K. – 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Mașinostroenie, 1986. – 656 s., il.
8. *Spravocinik tehnologa–mașinostroitelea*. V 2-h t. T.2. / Pod. red. Kosilovoi A.G. i Meșcereakova R.K. – 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Mașinostroenie, 1986. – 496 s., il.
9. *Proektirovanie tehnologhiceskih proțessov mehaniceskoi obrabotki v mașinostroenii*: Uceb. Posobie / Babuk V.V., Șkred V.A., Krivko G.P., Medvedev A.I.; pod red. Babuka V.V. – Mn: Vîș. șk., 1987.-255 s.
10. 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>
11. Coifu, Iu., Nițulenco, T., Bolunduț, I.-L., Toca, A. *Studiul și Ingineria Materialelo (materiale metalice)*. Chișinău U.T.M., 2012. -467 p. ISBN 978-9975-45-261-8. <http://repository.utm.md/handle/5014/15857>
12. 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>
13. 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>
14. Toca, A., Stroncea, A., Rusica, I. *Proiectarea dimensional optimală a tehnologiilor de prelucrare mecanică*. Chișinău: Tehnica-UTM, 2019. – 60 p. ISBN 978-9975-45-598-5.
15. Picoș, C., Pruteanu, O., Bohosievici, C. Coman, Gh., Braha, V., Paraschiv, Dr., Slatineanu, L., Gramescu, Tr., Marin, A., Ionesii, V., Toca, A. *Proiectarea tehnologiilor de prelucrare mecanică prin așchiere. Manual de proiectare*. Vol. 1. Chișinău, Universitas, 1992 - 640 p. ISBN 5-362-00970-2.
16. Slatineanu, L., Coteata, M., Dodun, O., Toca, A. *Ideas diagram in creative design. In proceedings of the First International Conference on Axiomatic Design (ICAD 2009)*. At: Campus de Caparica – Portugal, , pp. 79 – 84. ISBN 978-989-20-1535-4

17. ISO 1328-1:2013. Cilindric și Conic Angrenajele - Specificații Toleranță. International Organization for Standardization.
18. ISO 10360-7:2014. Sisteme de Măsurare prin Coordinate - Calibrare Scannere 3D Portabile. ISO.
19. ISO 6336-5:2016. Capacitate Transmisie Angrenaje - Calcul Materialelelor și Tratamente Termice. ISO.
20. AGMA 2101-D04. Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Gear Teeth. American Gear Manufacturers Association.
21. DIN 17200. Alloy Steels. Deutsches Institut für Normung.
22. Haas Automation. UMC-750 Technical Documentation. Haas Automation Inc., USA.
23. CREAFORM Inc. HandySCAN Software Suite - VXelements Technical Specifications. Quebec, Canada.
24. Maitra, G. M. (1994). *Handbook of Gear Design* (2nd ed.). Tata McGraw-Hill Education.
25. Toca, A., Stingaci, I. Formation of the optimal machining process based on the analysis of design and technological dimension relations. *Applied Mechanics and Materials Vol. 371* (2013) pp. 300-304. (2013) Trans Tech Publications, Switzerland. ISSN (print): 1660-9336, ISSN (Web): 1662-7482. [doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.371.300](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.371.300)
26. Toca, A. About the mutual influence of design and technological dimensional structures at creation of the optimum technological processes to machining. *In proceedings of the 14th International Conference "Modern Technologies, Quality and Innovation – ModTech 2010"*, Slanic Moldova, Romania, Politehniem Publishing House "Gh. Asachi" Technical University of Iasy, 2010, pp. 623 – 626. ISSN 2066 – 3919,
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.

36. 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

37. 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.

