

ABSTRACT AND REFERENCES

ENGINEERING TECHNOLOGICAL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.257977

ACCIDENT RISK ANALYSIS OF ROAD GEOMETRIC COMPONENTS USING FUNCTIONAL WORTHINESS APPROACH (p. 6–14)

Aji Suraji

Universitas Widyagama, Malang, East Java, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2636-2603>

Agus Taufik Mulyono

University of Gadjah Mada, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3350-6767>

The geometric design of the road should be based on the road design criteria and requirements contained in the design guidelines. However, the limitations of natural conditions and considerations during the design make the road design not ideal according to the guidelines. Deviations from the guidelines may indicate that the road is not standard and has potential accident risk. This study intends to analyze the risk of accidents from the geometric aspect of the road. The purpose of this study is to find out how the level of accident risk is due to the geometric conditions of the road. The approach used in this analysis is functional worthiness where each road component is compared with field data and design guidelines. The data collection method was carried out by measuring the geometric components of the road, which included horizontal and vertical alignments. The location of data collection was national roads in the Jambi Province area with a total road length of 1.095 km. For analysis purposes, the road data is divided into 82 segments. The analytical method used is multiple regression with various statistical parameters related to these results. The modeling results show that the regression coefficients for each variable horizontal alignment, vertical alignment, and combination of horizontal and vertical alignment are 0.248, 0.349, and 1.170, respectively. While the constant in this regression equation model is 3.366. The greatest value of the accident risk contribution is in the horizontal and vertical alignment variables with a coefficient of 1.170. The results of statistical tests show that the relationship between accident risk and the geometric aspect of the road has a strong linear relationship.

Keywords: accident risk, road geometry, horizontal alignment, vertical alignment, modelling.

References

- Mitra, S., Haque, M., King, M. J. (2017). Effects of access, geometric design, and heterogeneous traffic on safety performance of divided multilane highways in India. *Journal of Transportation Safety & Security*, 9, 216–235. doi: <https://doi.org/10.1080/19439962.2016.1237600>
- Pedoman Desain Geometrik Jalan No 13/P/BM/2021 (2021). Direktorat Jenderal Bina Marga, 354. Available at: http://103.211.51.97/file_uploads/ketentuan/PEDOMAN_DESAIN_GEOMETRIK_JALAN_FINAL__pdf_04-11-2021_06-44-13.pdf
- Oktopianto, Y., Shofiah, S., Rokhman, F. A., Wijayanthi, K. P., Krisdayanti, E. (2021). Analisis Daerah Rawan Kecelakaan (Black Site) Dan Titik Rawan Kecelakaan (Black Spot) Provinsi Lampung. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 5 (1), 40–51. doi: <https://doi.org/10.35334/be.v5i1.1777>
- Wilches, F. J., Burbano, J. L. A., Millán-Páramo, C. (2020). Influence of the inconsistency of the geometric layout on the road accident rate in a stretch of road with mountainous topography in southern Colombia. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 13 (11), 3893. doi: <https://doi.org/10.37624/ijert/13.11.2020.3893-3898>
- Ng, J. C. W., Sayed, T. (2004). Effect of geometric design consistency on road safety. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 31 (2), 218–227. doi: <https://doi.org/10.1139/103-090>
- Wedajo, T., Quezon, E. T., Mohammed, M. (2017). Analysis of Road Traffic Accident Related of Geometric Design Parameters in Alamata-Mehoni- Hewane Section. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8 (1), 874–881. doi: <https://doi.org/10.20372/nadre/4277>
- Miaou, S.-P. (1994). The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson versus negative binomial regressions. *Accident Analysis & Prevention*, 26 (4), 471–482. doi: [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(94\)90038-8](https://doi.org/10.1016/0001-4575(94)90038-8)
- Llopis-Castelló, D., Findley, D. J., Garcia, A. (2020). Comparison of the highway safety manual predictive method with safety performance functions based on geometric design consistency. *Journal of Transportation Safety & Security*, 13 (12), 1365–1386. doi: <https://doi.org/10.1080/19439962.2020.1738612>
- Driss, M., Benabdeli, K., Saint-Gerand, T., Hamadouche, M. A. (2014). Traffic safety prediction model for identifying spatial degrees of exposure to the risk of road accidents based on fuzzy logic approach. *Geocarto International*, 30 (3), 243–257. doi: <https://doi.org/10.1080/10106049.2014.883554>
- Suraji, A., Djakfar, L., Wicaksono, A. (2021). Analysis of bus performance on the risk of traffic accidents in East Java-Indonesia. *EUREKA: Physics and Engineering*, 3, 111–118. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001820>
- AlKheder, S., Gharabally, H. A., Mutairi, S. A., Mansour, R. A. (2022). An Impact study of highway design on casualty and non-casualty traffic accidents. *Injury*, 53 (2), 463–474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.injury.2021.09.042>
- Purwanto, D., Kusuma Indriastuti, A., Hari Basuki, K. (2016). Hubungan antara Kecepatan dan Kondisi Geometrik Jalan yang Berpotensi Menyebabkan Kecelakaan Lalu Lintas pada Tikungan. *MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL*, 21 (2), 83. doi: <https://doi.org/10.14710/mkts.v21i2.11234>
- Šenk, P., Ambros, J., Pokorný, P., Striegler, R. (2012). Use of Accident Prediction Models in Identifying Hazardous Road Locations. *Transactions on Transport Sciences*, 5 (4), 223–232. doi: <https://doi.org/10.2478/v10158-012-0025-0>
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum. Nomor: 11/PRT/M/2010. Tentang Tata Cara Persyaratan Laik Fungsi Jalan (2010). Menteri Pekerjaan Umum. Available at: <https://docplayer.info/30698674-Peraturan-menteri-pekerjaan-umum-nomor-11-prt-m-2010-tentang-tata-cara-dan-persyaratan-laik-fungsi-jalan-dengan-rahmat-tuhan-yang-maha-esa.html>
- Mulyono, A. T. (2021). Uji Laik Fungsi Jalan Berkeselamatan dan Berkepastian Hukum. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Rautela, P., Shikher Pant, S. (2007). Delineating road accident risk along mountain roads. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 16 (3), 334–343. doi: <https://doi.org/10.1108/09653560710758288>
- Llopis-Castelló, D., Findley, D. J. (2019). Influence of Calibration Factors on Crash Prediction on Rural Two-Lane Two-Way Roadway Segments. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 145 (6), 04019024. doi: <https://doi.org/10.1061/jtepbs.0000245>
- Mohamed, A. I. Z., Ci, Y., Tan, Y. (2020). Safety Performance Evaluation of the New Mega Elliptical Roundabout Interchanges Using the Surrogate Safety Assessment Model. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 146 (12), 04020137. doi: <https://doi.org/10.1061/jtepbs.0000463>

19. Vaiana, R., Iuele, T., Gallelli, V., Rogano, D. (2017). Demanded versus assumed friction along horizontal curves: An on-the-road experimental investigation. *Journal of Transportation Safety & Security*, 10 (4), 318–344. doi: <https://doi.org/10.1080/19439962.2016.1277290>
20. Pembuain, A., Priyanto, S., Suparma, L. B. (2019). The Weighting of Risk Factors for Road Infrastructure Accidents Using Analytic Hierarchy Process Method. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9 (4), 1275. doi: <https://doi.org/10.18517/ijaseit.9.4.7523>
21. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 19/PRT/M/2011. Tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan (2011). Menteri Pekerjaan Umum. Available at: <https://keselamatanjalan.files.wordpress.com/2016/10/permen-pu-19-2011-persyaratan-teknis-jalan-dan-kriteria-perencanaan-teknis-jalan.pdf>
22. Zhang, H., Zhang, M., Zhang, C., Hou, L. (2021). Formulating a GIS-based geometric design quality assessment model for Mountain highways. *Accident Analysis & Prevention*, 157, 106172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106172>
23. Elfandari, A., Siregar, M. L. (2021). The Relationship Between Frequency of Accident and Roads Geometric Design Consistency in NTB Province. *Journal of Physics: Conference Series*, 1858 (1), 012061. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1858/1/012061>
24. Michel, M., Francois, W.J., George ELAMBO, N., Gilles Delore, W. T. (2020). Impact of road geometric design elements on road traffic accidents in the city of Yaounde Cameroon. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 10 (2), 1–7. doi: <https://doi.org/10.51456/ijeit.2020.v10i02.001>
25. Suraji, A., Djakfar, L., Wicaksono, A., Marjono, M., Putranto, L. S., Susilo, S. H. (2021). Analysis of intercity bus public transport safety perception modeling using conjoint. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (3 (112)), 36–42. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239255>
26. Karimi, A., Kashi, E. (2018). Investigating the effect of geometric parameters influencing safety promotion and accident reduction (Case study: Bojnurd-Golestan National Park road). *Cogent Engineering*, 5 (1), 1525812. doi: <https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1525812>
27. Kriswardhana, W., Hasanuddin, A., Palestine, I. M. (2020). Modelling road traffic accident rate and road geometric parameters relationship. HIGH-ENERGY PROCESSES IN CONDENSED MATTER (HEPCM 2020): Proceedings of the XXVII Conference on High-Energy Processes in Condensed Matter, Dedicated to the 90th Anniversary of the Birth of RI Soloukhin. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0014530>
28. Dhankute, A., Mnoranjan, P. (2019). Risk analysis of rural four lane divided highway based on risk index determination by road safety audit. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 13, 1927–1947. doi: <https://doi.org/10.11175/easts.13.1927>
29. Machus, M., Sulistio, H., Wicaksono, A., Djakfar, L. (2013). The Prediction Models of Motorcycle Accidents on Surabaya Arterial Roads Using Generalized Linear Models. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 18 (12), 1859–1866. Available at: [https://www.idosi.org/mejsr/mejsr18\(12\)13/32.pdf](https://www.idosi.org/mejsr/mejsr18(12)13/32.pdf)
30. Wicaksono, A., Arifin, M. Z., Nugroho, M. W., Utomo, Y. R. (2021). Truck Accident Risk Model for East Java, Indonesia. *ICCOEE2020*, 828–835. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-33-6311-3_94
31. Suraji, A., Harnen, S., Wicaksono, A., Djakfar, L. (2017). Driver Performance Problems of Intercity Bus Public Transportation Safety in Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 267, 012026. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/267/1/012026>
32. Ebrahimi, M. H., Sadeghi, M., Dehghani, M., Niiat, K. S. (2015). Sleep habits and road traffic accident risk for Iranian occupational drivers. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*. doi: <https://doi.org/10.13075/ijom.1896.00360>
33. Mulyono, A. T., Antameng, M., Budiarto, A. A. T. (2010). Audit Defisiensi Keselamatan Infrastruktur Jalan Nasional KM 29-KM 30 Jalur Pantura Jawa. *Konferensi Regional Teknik Jalan*. Available at: https://www.academia.edu/9310838/Audit_Defisiensi_Keselamatan_Infrastruktur_Jalan_Nasional_KM_29_KM_30_Jalur_Pantura_Jawa

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.260045

RESTORATION AND TRANSFORMATION OF HIGH-TECH MACHINE BUILDING INDUSTRY BY IMPLEMENTING THE PRINCIPLES OF THE CALS-CONCEPT IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0 DEVELOPMENT (p. 15–24)

Dmitriy Volontsevich

National Technical University

«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine, 61002

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0670-2762>

Alexander Skvorchevsky

National Technical University

«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4572-7305>

The object of this study was the processes of restoration and transformation of high-tech engineering using the principles of Industry 4.0 and CALS-concept. The problem of identifying ideas, concepts, tools and developing the principles of their application for the restoration and transformation of high-tech engineering has been solved. It is shown that the restoration of high-tech engineering, in countries affected by hostilities, is advisable to carry out using the CALS concept. The top priority CALS technology and systems have been identified. An opportunity to jump from Industry 2.0 to Industry 4.0. for countries in which mechanical engineering has suffered greatly as a result of hostilities has been shown. The principles of restoration and transformation of high-tech engineering by implementing the principles of CALS concept in the context of Industry 4.0 development have been developed. The infrastructure of the participants of the life cycle of machine-building products is proposed. A model for optimizing the production program of the defense-industrial complex has been built. The model takes into consideration the nonlinearity associated with the optimization of the production program, as well as the stochastic nature of changes in the model parameters. An adaptive approach is proposed that makes it possible to optimize the production program according to the model even for specialists without special mathematical training. The priorities of post-war reconstruction of high-tech engineering have been defined. This study will make it possible to transform and restore the machine-building industry destroyed as a result of hostilities as soon as possible. The condition for the practical use of this study is to stop the hostilities.

Keywords: mechanical engineering, Continuous Acquisition and Life-Cycle Support, Industry 4.0, Shared Data Environment, optimization model.

References

- Schwab, K. (2016). The fourth industrial revolution. *World Economic Forum*, 172. Available at: https://law.unimelb.edu.au/__data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf
- Fourth Industrial Revolution Beacons of Technology and Innovation in Manufacturing. In collaboration with McKinsey & Company (2019). *World Economic Forum*, 40. Available at: https://www3.weforum.org/docs/WEF_4IR_Beacons_of_Technology_and_Innovation_in_Manufacturing_report_2019.pdf

3. Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119869. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>
4. Jamwal, A., Agrawal, R., Sharma, M., Kumar, V., Kumar, S. (2021). Developing A sustainability framework for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 98, 430–435. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.129>
5. Yu, Z., Khan, S. A. R., Umar, M. (2021). Circular economy practices and industry 4.0 technologies: A strategic move of automobile industry. *Business Strategy and the Environment*, 31 (3), 796–809. doi: <https://doi.org/10.1002/bse.2918>
6. Marcos De Oliveira, M., Geraldi Andreatta, L., Stjepandić, J., Canciglieri Junior, O. (2021). Product Lifecycle Management and Sustainable Development in the Context of Industry 4.0: A Systematic Literature Review. *Transdisciplinary Engineering for Resilience: Responding to System Disruptions*. doi: <https://doi.org/10.3233/atde210100>
7. Duda, J., Oleszek, S., Santarek, K. (2022). Product Lifecycle Management (PLM) in the Context of Industry 4.0. *Advances in Manufacturing III*, 171–185. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-99310-8_14
8. Ryvak, N., Kernytska, A. (2020). Industry 4.0 initiatives in EU countries: experience for Ukraine. *Socio-Economic Problems of the Modern Period of Ukraine*, 4 (144), 65–70. doi: <https://doi.org/10.36818/2071-4653-2020-4-9>
9. Corradini, C., Santini, E., Vecchiolini, C. (2021). The geography of Industry 4.0 technologies across European regions. *Regional Studies*, 55 (10-11), 1667–1680. doi: <https://doi.org/10.1080/00343404.2021.1884216>
10. Schluse, M., Priggemeyer, M., Atorf, L., Rossmann, J. (2018). Experimentable Digital Twins—Streamlining Simulation-Based Systems Engineering for Industry 4.0. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14 (4), 1722–1731. doi: <https://doi.org/10.1109/tii.2018.2804917>
11. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Horizon Europe, the EU research and innovation programme (2021-27). doi: <https://doi.org/10.2777/601756>
12. Podolska, Ye. A., Podolska, T. V. (2009). *Sotsiologiya: 100 pytan – 100 vidpovidei*. Kyiv: INKOS, 352. Available at: <http://politics.ellib.org.ua/pages-cat-176.html>
13. NATO CALS handbook (2000). Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.194.9777&rep=rep1&type=pdf>
14. Tan, K. L., Goh, W. B. (2019). Designing a Multi-disciplinary Group Project for Computer Science and Engineering Students. 2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). doi: <https://doi.org/10.1109/educon.2019.8725147>
15. Hennessy, C. H., Walker, A. (2010). Promoting multi-disciplinary and inter-disciplinary ageing research in the United Kingdom. *Ageing and Society*, 31 (1), 52–69. doi: <https://doi.org/10.1017/s0144686x1000067x>
16. Moore, D. M., Antill, P. D. (2001). Integrated Project Teams: the way forward for UK defence procurement. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7 (3), 179–185. doi: [https://doi.org/10.1016/s0969-7012\(00\)00029-0](https://doi.org/10.1016/s0969-7012(00)00029-0)
17. Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms. Available at: https://irp.fas.org/doddir/dod/jp1_02.pdf
18. Werbrouck, J., Pauwels, P., Beetz, J., van Berlo, L. (2019). Towards a decentralised common data environment using linked building data and the solid ecosystem. Conference: 36th CIB W78 2019 Conference. Available at: https://www.researchgate.net/publication/335947234_Towards_a_Decentralised_Common_Data_Environment_using_Linked_Building_Data_and_the_Solid_Ecosystem
19. Parn, E. A., Edwards, D. (2019). Cyber threats confronting the digital built environment. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26 (2), 245–266. doi: <https://doi.org/10.1108/ecam-03-2018-0101>
20. Patacas, J., Dawood, N., Kassem, M. (2020). BIM for facilities management: A framework and a common data environment using open standards. *Automation in Construction*, 120, 103366. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103366>
21. Skvorchevsky, A. E. (2020). The prospects of the NATO CALS data model usage in innovative mechanical engineering of the Baltic-Black Sea region. *Transport development*, 2 (7), 73–85. doi: <https://doi.org/10.33082/td.2020.2-7.07>
22. Skvorchevskiy, O. Ye. (2021). Orhanizatsiya modeli danykh NATO CALS. Information technologies: science, engineering, technology, education, health: tezy dop. 29-yi mizhnar. nauk.-prakt. konf. MicroCAD-2021. Ch. 1. Kharkiv: Planeta-Print, 118. Available at: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/53260>
23. Skvorchevskiy, O. Ye. (2021). NATO CALS Data Model v menedzhmenti danykh naukomistkoho mashynobudivnoho vyrobu. *Computer Technology and Mechatronics: zb. nauk. pr. za materialamy 3-yi mizhnar. nauk.-metod. konf. Kharkiv: KhNADU*, 194–196. Available at: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/53261>
24. Skvorchevsky, A. (2021). Study of the principles of building databases of high-tech machine-building products based on the basic NATO CALS database model. *Information technology and computer engineering*, 52 (3), 36–43. doi: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-52-3-36-43>
25. Raptis, T. P., Passarella, A., Conti, M. (2019). Data Management in Industry 4.0: State of the Art and Open Challenges. *IEEE Access*, 7, 97052–97093. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2929296>
26. Diène, B., Rodrigues, J. J. P. C., Diallo, O., Ndoye, E. H. M., Korotae, V. V. (2020). Data management techniques for Internet of Things. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 138, 106564. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106564>
27. Omri, N., Al Masry, Z., Mairot, N., Giampiccolo, S., Zerhouni, N. (2020). Industrial data management strategy towards an SME-oriented PHM. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 23–36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.04.002>
28. Melesse, T. Y., Pasquale, V. D., Riemma, S. (2020). Digital Twin Models in Industrial Operations: A Systematic Literature Review. *Procedia Manufacturing*, 42, 267–272. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.084>
29. Suhail, S., Hussain, R., Jurdak, R., Hong, C. S. (2021). Trustworthy Digital Twins in the Industrial Internet of Things with Blockchain. *IEEE Internet Computing*, 1–1. doi: <https://doi.org/10.1109/mic.2021.3059320>
30. Huang, Z., Shen, Y., Li, J., Fey, M., Brecher, C. (2021). A Survey on AI-Driven Digital Twins in Industry 4.0: Smart Manufacturing and Advanced Robotics. *Sensors*, 21 (19), 6340. doi: <https://doi.org/10.3390/s21196340>
31. Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., Sui, F. (2017). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94 (9-12), 3563–3576. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0233-1>
32. Wang, Y., Wang, S., Yang, B., Zhu, L., Liu, F. (2020). Big data driven Hierarchical Digital Twin Predictive Remanufacturing paradigm: Architecture, control mechanism, application scenario and benefits. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119299. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119299>
33. Nikonov, O., Kyrychenko, I., Shuliakov, V., Valentyna, F. (2020). Parametric synthesis of a dynamic object control system with non-linear characteristics. *Computer Modeling and Intelligent Systems*, 2608, 91–101. doi: <https://doi.org/10.32782/cm/2608-8>
34. Nikonov, O., Kyrychenko, I., Shuliakov, V. (2020). Simulation modeling of external perturbations affecting wheeled vehicles of special purpose. *Computer Modeling and Intelligent Systems*, 2608, 547–556. doi: <https://doi.org/10.32782/cm/2608-42>

35. Liubarskyi, B., Iakunin, D., Nikonov, O., Liubarskyi, D., Yeritsyan, B. (2022). Optimizing geometric parameters for the rotor of a traction synchronous reluctance motor assisted by partitioned permanent magnets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (8 (116)), 38–44. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254373>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258550

IMPLEMENTATION OF REENGINEERING TECHNOLOGY TO REDUCE THE TERMS OF THE TECHNICAL PREPARATION OF MANUFACTURING OF AVIATION TECHNOLOGY ASSEMBLIES (p. 25–32)

Valeriy Sikulskiy

National Aerospace University
«Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5944-4728>

Kateryna Maiorova

National Aerospace University
«Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3949-0791>

Iurii Vorobiov

National Aerospace University
«Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6401-7790>

Maksym Boiko

National Aerospace University
«Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4982-839X>

Oleh Komisarov

Motor Sich JSC, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8429-0521>

The object of this study is the technical preparation of manufacturing (TPM) of aviation technology (AT) using reengineering technology. The task to reduce the terms of TPM AT was tackled while solving direct and inverse problems of shape formation involving reengineering. The study is based on the equation for calculating the labor intensity of creating an assembly unit (AU) as a mathematical model for the formation and accumulation of components of the total labor intensity at all stages. The following results are reported: a scheme has been proposed for linking homogeneous components of an article obtained using the loft-template method (LTM) with digital mock-up (DMU) when applying the reengineering method. The scheme summarizes and structures the reengineering technology to solve direct and inverse shape-formation problems and could be used to solve the tasks of prototyping, manufacturing, and refurbishment of tooling, as well as article control at all stages of production. An example of the helicopter stabilizer shows that when solving the direct shape-formation problem, the labor intensity is from 294.94 to 315.06 man-hours, and when solving the inverse problem – from 194.78 to 213.22 man-hours. A comparative analysis of the labor intensity of TPM revealed a difference of 1.5 times in favor of the labor intensity of solving the inverse problem. Comparing the labor intensity of creating DMU for the stabilizer of a helicopter has made it possible to establish that the labor intensity of solving the inverse problem is 3.7 times less than the labor intensity of solving a direct problem. Recommendations for reducing the terms of TPM AT with the use of reengineering are given. The results could be used to assess the labor intensity and timing of TPM AT and mechanical engineering objects in general when using reengineering technology.

Keywords: technical preparation of production, reengineering, assembly unit, analytical standard, aviation technology.

References

- 2020 passenger totals drop 60 percent as COVID-19 assault on international mobility continues. Available at: <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/2020-passenger-totals-drop-60-percent-as-COVID19-assault-on-international-mobility-continues.aspx>
- Podrez, N. V., Bozheeva, T. V. (2017). Choosing the method of aircraft equipment linkage in modern production conditions. *Modern Technologies. System Analysis. Modeling*, 3 (55), 152–158. doi: [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2017.3\(55\).152-158](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2017.3(55).152-158)
- Boyd, K. (2022). Predicting Performance Capabilities and Designing a New Wing for an Unknown Aircraft Using Reverse Engineering Techniques. Ohio State University. Available at: https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_olink/r/1501/10?clear=10&p10_accession_num=osu1618312172848158
- Lee, J. J., Yoon, H. (2015). A comparative study of technological learning and organizational capability development in complex products systems: Distinctive paths of three latecomers in military aircraft industry. *Research Policy*, 44 (7), 1296–1313. doi: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.03.007>
- ISO 17599:2015. Technical product documentation (TPD) – General requirements of digital mock-up for mechanical products. Available at: <https://www.iso.org/standard/62208.html>
- Bruni, A., Concettoni, E., Cristalli, C., Nisi, M. (2019). Smart Inspection Tools in robotized aircraft panels manufacturing. 2019 IEEE 5th International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace). doi: <https://doi.org/10.1109/metroaerospace.2019.8869690>
- Frigo, M. A., Silva, E. C. C. da, Barbosa, G. F. (2016). Augmented Reality in Aerospace Manufacturing: A Review. *Journal of Industrial and Intelligent Information*. doi: <https://doi.org/10.18178/jiii.4.2.125-130>
- Eschen, H., Kötter, T., Rodeck, R., Harnisch, M., Schüppstuhl, T. (2018). Augmented and Virtual Reality for Inspection and Maintenance Processes in the Aviation Industry. *Procedia Manufacturing*, 19, 156–163. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.01.022>
- Shabalkin, D. Yu., Buyandukov, A. S., Luk'yanov, N. A. (2016). *Primenenie sistemy virtual'nogo inzhiniringa v konstruktorsko-tehnologicheskoy podgotovke na aviastroitel'nom predpriyatii. Noveye tekhnologii, materialy i oborudovanie rossiyskoy aviakosmicheskoy otrasli AKTO-2016*, 287–291.
- Streltsov, P. A., Kiselev, E. S. (2016). Improving the efficiency of high-speed milling of non-rigid intricate workpieces by improvement the control program for the machine tools with CNC in CAM-system. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 18 (1-2), 416–420. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-vysokoskorostnogo-frezerovaniya-slozhnoprofilnyh-zagotovok-putem-sovershenstvovaniya-upravlyayuschih>
- Sibagatullina, L. I., Veselovskaya, V. S., Gorodilov, A. B. (2015). Puti sokrascheniya srokov i zatrat podgotovki proizvodstva aviatsionnoy produktsii. XXII Tupolevskie chteniya (shkola molodykh uchenykh): mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaya konferentsiya. Kazan': Foliant, 382–387.
- Anwar, M. Y., Ikramullah, S., Mazhar, F. (2014). Reverse engineering in modeling of aircraft propeller blade - first step to product optimization. *IIUM Engineering Journal*, 15 (2). doi: <https://doi.org/10.31436/iiumej.v15i2.497>
- Lukaszewicz, A. (2015). Method for Propeller Reconstruction Using Reverse Engineering. Project: CAx systems education and application. Available at: https://www.researchgate.net/publication/268053431_Method_for_Propeller_Reconstruction_Using_Reverse_Engineering
- Maiorova, K., Vorobiov, I., Boiko, M., Suponina, V., Komisarov, O. (2021). Implementation of reengineering technology to ensure the predefined geometric accuracy of a light aircraft keel. *Eastern-*

- European Journal of Enterprise Technologies, 6 (1 (114)), 6–12. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246414>
15. Sikul'skyi, V., Sikul'skyi, S., Maiorova, K., Suponina, V., Komisarov, O. (2022). The Process of Forming Integral Ribbed Panels by Sequential Local Phased Deformation with Information Support. Lecture Notes in Networks and Systems, 157–165. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_15
 16. Babenko, A. H., Bondarevska, K. V. (2013). Normuvannia pratsi. Dnipropetrovsk: Dnipropetrovska derzhavna finansova akademiia, 158. Available at: <http://xn--e1ajqk.kiev.ua/wp-content/uploads/2019/12/Babenko-A.-G.-Normuvannya-praczi.pdf>
 17. Kondić, Ž., Tunjić, Đ., Maglić, L., Novak, A. H. (2020). Tolerance Analysis of Mechanical Parts. Tehnički glasnik, 14 (3), 265–272. doi: <https://doi.org/10.31803/tg-20200504092314>
 18. Krivov, G. A., Matvienko, V. A., Vorob'ev, Yu. A. (2007). Tekhnologiya sborki uzlov i agregatov planera samoleta s ispol'zovaniem otverstiy v kachestve sborochnykh baz: SOU MPP 49.035-90:2007. Kiev, 156.
 19. Laha, R. G., Rohatgi, V. K. (2020). Probability theory. Courier Dover Publications, 576. Available at: <https://books.google.com.ua/books?hl=en&lr=&id=R97YDwAAQBAJ>
 20. Mas, F., Racero, J., Ríos, J., Arista, R., Gómez, A., Olmos, V. (2017). Development based on reverse engineering to manufacture aircraft custom-made parts. International Journal of Mechatronics and Manufacturing Systems, 10 (1), 40. doi: <https://doi.org/10.1504/ijmms.2017.10005293>
 21. Dubovska, R., Jambor, J., Majerik, J. (2014). Implementation of CAD/CAM System CATIA V5 in Simulation of CNC Machining Process. Procedia Engineering, 69, 638–645. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.037>
 22. Hoque, A. S. M., Halder, P. K., Parvez, M. S., Szecsi, T. (2013). Integrated manufacturing features and Design-for-manufacture guidelines for reducing product cost under CAD/CAM environment. Computers & Industrial Engineering, 66 (4), 988–1003. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.08.016>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.257013

ESTIMATING THE RESIDUAL RESOURCE OF BASIC STRUCTURES USING A MODEL OF FATIGUE DURABILITY UNDER COMPLEX LOADING (p. 33–41)

Sergey Belodedenko

Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5768-594X>

Oleksii Hrechanyi

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0524-4998>

Vasyl Hanush

Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7321-2691>

Andrii Vlasov

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3253-6435>

This paper reports the construction of a durability model of basic structures, which takes into consideration the complex stressed state under the cyclic action of the complex load. The models that take into consideration this factor are categorized on the basis of equivalent for a certain indicator of the stressed-strained state. The equivalence models based on the tangent stresses and strains have been recog-

nized as the most effective ones. However, they hold when the ratio of the limits of fatigue under tangent and normal stresses exceeds 0.5. In addition, determining the latter requires specific testing equipment. The concept of basic bearing structures for industrial equipment has been formulated. The issue related to the multi-axis fatigue of basic structures was considered from the standpoint of combining the reliability indicators of systems. The durability model has been derived from the rule of combining resource safety indices. The load is represented as a combination of individual subprocesses of simple types of deformation with their amplitudes and asymmetries. A model of durability with multi-axis fatigue has been built, which takes into consideration the parameters of the form of the strain cycle, and the type of process (synphase, disproportionate, unchanging static stress). The possibility of obtaining parameters for the multi-axis fatigue model during tests for three-point bending under conditions of varying the multiplicity of the span has been confirmed. According to this scheme, fatigue tests of prismatic samples of the steels 09G2 and 40H were carried out. For them, the parameters of fatigue resistance were found; additionally, the ratio of the fatigue limit for tangent stresses of displacement and fatigue limits for normal bending stresses, which is equal to 0.385, was established. A test procedure has been devised to determine the initial data for the multi-axle fatigue model, which is suitable for conventional test machines and simple-shape samples. The latter advantage is important precisely for basic structures, from fragments of which it is difficult to fabricate sample of a complex shape.

Keywords: basic load-bearing structures, multi-axis fatigue, safety index, shear stresses.

References

1. Paolone, R. (2019). From liquid metal to rolling: ideas and solutions to increase efficiency and minimize waste. DaNews, 181, 4–12.
2. Della Mora, D. (2019). Drive for sustainable steelmaking is forming a green wave. DaNews, 181, 94–97.
3. Belodedenko, S., Hanush, V., Baglay, A., Hrechanyi, O. (2020). Fatigue Resistance Models of Structural for Risk Based Inspection. Civil Engineering Journal, 6 (2), 375–383. doi: <https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091477>
4. Belodedenko, S. V., Bilichenko, G. M., Hrechanyi, O. M., Ibragimov, M. S. (2019). Application of risk-analysis methods in the maintenance of industrial equipment. Procedia Structural Integrity, 22, 51–58. doi: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.01.007>
5. Suman, S., Kallmeyer, A., Smith, J. (2016). Development of a multiaxial fatigue damage parameter and life prediction methodology for non-proportional loading. Frattura Ed Integrità Strutturale, 10 (38), 224–230. doi: <https://doi.org/10.3221/igf-esis.38.30>
6. Kluger, K., Łagoda, T. (2016). Fatigue life estimation for selected materials in multiaxial stress states with mean stress. Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 54 (2), 385–396. doi: <https://doi.org/10.15632/jtam-pl.54.2.385>
7. Heywood, R. B. (1962). Designing against fatigue. Chapman and Hall, 436.
8. Erickson, M., Kallmeyer, A. R., Van Stone, R. H., Kurath, P. (2008). Development of a Multiaxial Fatigue Damage Model for High Strength Alloys Using a Critical Plane Methodology. Journal of Engineering Materials and Technology, 130 (4). doi: <https://doi.org/10.1115/1.2969255>
9. Fatemi, A., Socie, D. F. (1988). A critical plane approach to multiaxial fatigue damage including out-of-phase loading. Fatigue & Fracture of Engineering Materials and Structures, 11 (3), 149–165. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1460-2695.1988.tb01169.x>
10. Socie, D. Multiaxial Fatigue. 2001-2012 Darrell Socie, University of Illinois at Urbana-Champaign. Available at: <https://fcp.mechse.illinois.edu/files/2014/07/5-Multiaxial-Fatigue.pdf>

11. Brown, M. W., Miller, K. J. (1973). A Theory for Fatigue Failure under Multiaxial Stress-Strain Conditions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 187 (1), 745–755. doi: https://doi.org/10.1243/pime_proc_1973_187_161_02
12. Marhabi, D., Benseddiq, N., Mesmacque, G., Azari, Z., Nianga, J. M. (2016). Prediction of the critical stress to crack initiation associated to the investigation of fatigue small crack. *Frattura Ed Integrità Strutturale*, 10 (38), 36–46. doi: <https://doi.org/10.3221/igf-esis.38.05>
13. Marcisz, E., Rozumek, D., Marciniak, Z. (2015). Influence of control parameters on the crack paths in the aluminum alloy 2024 under bending. *Frattura Ed Integrità Strutturale*, 34. doi: <https://doi.org/10.3221/igf-esis.34.42>
14. Marciniak, Z., Rozumek, D., Macha, E. (2008). Fatigue lives of 18G2A and 10HNAP steels under variable amplitude and random non-proportional bending with torsion loading. *International Journal of Fatigue*, 30 (5), 800–813. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2007.07.001>
15. Ogawa, F., Shimizu, Y., Bressan, S., Morishita, T., Itoh, T. (2019). Bending and Torsion Fatigue-Testing Machine Developed for Multiaxial Non-Proportional Loading. *Metals*, 9 (10), 1115. doi: <https://doi.org/10.3390/met9101115>
16. Benasciutti, D., Zanellati, D., Cristofori, A. (2018). The «Projection-by-Projection» (PbP) criterion for multiaxial random fatigue loadings. *Frattura Ed Integrità Strutturale*, 13 (47), 348–366. doi: <https://doi.org/10.3221/igf-esis.47.26>
17. Belodedenko, S., Grechany, A., Yatsuba, A. (2018). Prediction of operability of the plate rolling rolls based on the mixed fracture mechanism. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (91)), 4–11. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.122818>
18. Itoh, T., Sakane, M., Ohnami, M., Socie, D. F. (1995). Nonproportional Low Cycle Fatigue Criterion for Type 304 Stainless Steel. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 117 (3), 285–292. doi: <https://doi.org/10.1115/1.2804541>
19. Ogawa, F., Itoh, T., Yamamoto, T. (2018). Evaluation of multiaxial low cycle fatigue cracks in Sn-8Zn-3Bi solder under non-proportional loading. *International Journal of Fatigue*, 110, 215–224. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2018.01.021>
20. Wildemann, V. E., Tretyakov, M. P., Staroverov, O. A., Yankin, A. S. (2018). Influence of the biaxial loading regimes on fatigue life of 2024 aluminum alloy and 40CrMnMo steel. *PNRPU Mechanics Bulletin*, 4, 169–177. doi: <https://doi.org/10.15593/pern.mech/2018.4.16>
21. Bressan, S., Ogawa, F., Itoh, T., Berto, F. (2018). Influence of Notch Sensitivity and Crack Initiation Site on Low Cycle Fatigue Life of Notched Components under Multiaxial Non-proportional Loading. *Frattura Ed Integrità Strutturale*, 13 (47), 126–140. doi: <https://doi.org/10.3221/igf-esis.47.10>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.256954

DETERMINING REGULARITIES OF THE STRESSED-STRAINED STATE OF FLEXIBLE SHELL OF THE PNEUMATIC SPRING MADE OF POLYMERIC MATERIAL (p. 42–49)

Vyacheslav Masliyev

National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4575-7077>

Vladislav Dushchenko

National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6308-7068>

Vitalii Yepifanov

National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6240-9771>

Oleh Ahapov

National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0652-2593>

Anton Masliiev

Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1120-0660>

Roman Nanivskyi

Hetman Petro Sahaidachnyi National
Army Academy, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6504-1178>

Pneumatic springs make it possible to implement the «soft» characteristics of the suspension of vehicles, which provides comfortable conditions for passengers and reduces the dynamic load on the road surface. The issue of the strength of the flexible shells of pneumatic springs, which are made of rubber cord, remains relevant. Strains that stretch flexible shells, which arise in the process of movement, cause ruptures of rubber cord, thereby reducing their reliability. At present, there is a global tendency to replace rubber cord with polymeric materials. This paper reports a study of the strength of a two-sided flexible shell of the cylinder type under different operational modes of a pneumatic spring. The research was carried out using a finite-element method. The peculiarity of the pneumatic spring design is that the diameters of the bottoms and inter-corrugation ring are increased to the size of the outer diameter of the flexible shell in order to improve the stability and damping properties of the pneumatic suspension. The flexible pneumatic spring shell is made of polymeric material. It is proved that the stress in the material of the flexible shell increases in proportion to the air pressure in its cavity; their greatest values are observed in places where the flexible shell is fixed to the bottoms. When approaching the equator of the shell, they gradually decrease by an average of 20 % in both corrugations. The increase in the radius of the equator in both corrugations of the flexible shell did not exceed 20 mm. With a mutual transverse displacement of the bottoms by 40 mm and excessive air pressure of 0.5 and 1.0 MPa, the stress in the flexible shell material was 2.9 MPa and 5.9 MPa, respectively. This is almost five times less than the strength limit of the material for breaking (30 MPa). Thus, the selected parameters ensure the strength of the flexible pneumatic spring shell: it can be recommended for use on vehicles.

Keywords: vehicle air suspension, strength of the flexible shell of a pneumatic spring, stress in the polymeric material of the flexible pneumatic spring shell.

References

1. Zhai, W., Liu, P., Lin, J., Wang, K. (2015). Experimental investigation on vibration behaviour of a CRH train at speed of 350 km/h. *International Journal of Rail Transportation*, 3 (1), 1–16. doi: <https://doi.org/10.1080/23248378.2014.992819>
2. Sugahara, Y., Kazato, A., Takigami, T., Koganei, R. (2008). Suppression of Vertical Vibration in Railway Vehicles by Controlling the Damping Force of Primary and Secondary Suspensions. *Quarterly Report of RTRI*, 49 (1), 7–15. doi: <https://doi.org/10.2219/rtrqr.49.7>
3. Lee, J.-H., Kim, K.-J. (2007). Modeling of nonlinear complex stiffness of dual-chamber pneumatic spring for precision vibration isolations. *Journal of Sound and Vibration*, 301 (3-5), 909–926. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2006.10.029>
4. Toyofuku, K. (1999). Study on dynamic characteristic analysis of air spring with auxiliary chamber. *JSAE Review*, 20 (3), 349–355. doi: [https://doi.org/10.1016/s0389-4304\(99\)00032-6](https://doi.org/10.1016/s0389-4304(99)00032-6)
5. Karimi Eskandary, P., Khajepour, A., Wong, A., Ansari, M. (2016). Analysis and optimization of air suspension system with independent height and stiffness tuning. *International Journal of Automotive*

- Technology, 17 (5), 807–816. doi: <https://doi.org/10.1007/s12239-016-0079-9>
6. Abid, H. J., Chen, J., Nassar, A. A. (2015). Equivalent Air Spring Suspension Model for Quarter-Passive Model of Passenger Vehicles. *International Scholarly Research Notices*, 2015, 1–6. doi: <https://doi.org/10.1155/2015/974020>
 7. Fomin, O., Lovska, A., Masliyev, V., Tsybaliuk, A., Burlutski, O. (2019). Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (97)), 33–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154282>
 8. Fomin, O., Lovska, A., Melnychenko, O., Shpylovi, I., Masliyev, V., Bambura, O., Klymenko, M. (2019). Determination of dynamic load features of tank containers when transported by rail ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (101)), 19–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.177311>
 9. Korneyev, V. S., Shalay, V. V. (2019). Mathematical model of the rubber-cord shell of rotation for pneumatic dampers. *Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering*, 3 (1), 22–41. doi: <https://doi.org/10.25206/2588-0373-2019-3-1-22-41>
 10. Akopyan, R. A. (1970). *Rabochie protsessy i teoriya prochnosti pnevmaticheskoy podveski*. Lviv: Izd-vo Lvovskogo un-ta, 222.
 11. Slipchenko, I. N., Masliev, V. G. (2014). Issledovanie prochnosti gibkoy obolochki pnevmoreosory dlya dizel'-poezda. VIII Universytetska naukovo-praktychna studentska konferentsiya mahistrantiv Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut»: materialy konf. Ch. 1. Kharkiv: NTU «KhPI», 219–220.
 12. Masliev, V. G., Fomin, A. V., Lovskaya, A. A., Masliev, A. O., Gorbunov, N. I., Dushchenko, V. V. (2021). Strength of Flexible Shell of Pneumatic Springs. *Science & Technique*, 20 (4), 302–309. doi: <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-4-302-309>
 13. Masliev, A. O., Makarenko, Y. V., Masliev, V. G. (2015). Damping the bodies of vehicles that are equipped with air springs. *Bulletin of NTU «KhPI». Series: Transport mashine building*, 43 (1152), 59–64.
 14. Korobka, B. A., Shkabrov, O. A., Kovalenko, Yu. N., Nazarenko, V. F. (2010). *Otechestvennaya passazhirskaya telezhka na pnevmopodveske*. *Vagonniy park*, 6, 48–51.
 15. Rayt, P., Kammig, A.; Apukhtina, N. P. (Ed.) (1973). *Poliuretano-nyye elastomery*. Leningrad: Khimiya, 304.
 16. Alyamovskiy, A. A. (2004). *SolidWorks. Inzhenerniy analiz metodom konechnykh elementov*. Moscow: DMK Press, 432.
 17. Masliev, V. G., Shevchenko, P. M., Evstratov, A. S., Alekseev, A. O. (1981). *Pnevmaticheskoe ressnornoe podveshivanie teplovoza 2TE116*. *Transportnoe mashinostroyeniye*. Moscow: NIINFORMTYAZHMASH, 5-81-17, 15–17.
 18. Masliev, A. O., Dushchenko, V. V., Masliev, V. H. (2016). Pat. No. 113641 UA. *Pnevmatychna pidviska*. No. u201607535; declared: 11.07.2016; published: 10.02.2017, Bul. No. 3. Available at: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=232105>
 19. Issledovaniya i proektnye raboty po sozdaniyu pnevmopodveshivaniya telezhki dlya dizel'-elektropoezdov s povyshennymi dinamicheskimi i ekspluatatsionnymi pokazatelyami: otchet o NIR 0108U010504 (2004).

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.256225
NUMERICAL STUDY ON THE EFFECT OF ANISOTROPY ON DEFORMATION BEHAVIOR OF ALUMINUM BILAYER SHEETS IN SINGLE POINT INCREMENTAL METAL FORMING (p. 50–57)

Bassam Abdullah Mohammed
 Southern Technical University, Basra, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1647-9645>

Raed Sabri Batbooti
 Southern Technical University, Basra, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3058-4652>

Tahseen Ali Jabbar
 Southern Technical University, Basra, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0602-9627>

The anisotropy of metals is an important property that has a significant impact on the dimensional accuracy of components in manufacturing. In metal forming processes significant attention has been given to multilayer composite sheets as they may combine the advantages of materials with various mechanical properties. In this study, the effect of anisotropy is investigated in the process of single point incremental forming (SPIF) of aluminum bilayer sheets. The finite element method (FEM) is used to study the effect of layer arrangement and the anisotropy of metal sheets relative to the rolling direction. For the effective description of sheet metal anisotropy, the two-dimensional Yld2000-2D yield function is implemented in Abaqus software using a material subroutine (VUMAT). The calculation and calibration of the coefficients of Yld2000-2D in accordance with the experimental data were performed using a MATLAB code. For comparison, the anisotropic coefficients of Yld2000-2D were replaced by unit values in the same VUMAT to investigate forming behavior in the isotropic case with the von Mises yield function. Anisotropic and isotropic models are compared in a conical geometry by assessing equivalent plastic strain, sheet thickness, and forming tool reaction forces. Our findings show that anisotropy of sheet metal causes less variation in material properties compared to the isotropic case, significantly affecting the stiffness and, subsequently, the final shape dimensional accuracy of the formed component. The results of the study have a practical application in that they can be used to identify strategies for anisotropic bimetal sheets to improve such material forming processes.

Keywords: anisotropy, incremental metal forming, aluminum alloys, bilayer sheet, finite element analysis, Yld2000-2D.

References

1. Hagan, E., Jeswiet, J. (2003). A review of conventional and modern single-point sheet metal forming methods. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 217 (2), 213–225. doi: <https://doi.org/10.1243/095440503321148858>
2. Liu, Z., Li, G. (2019). Single point incremental forming of Cu-Al composite sheets: A comprehensive study on deformation behaviors. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 19 (2), 484–502. doi: <https://doi.org/10.1016/j.acme.2018.11.011>
3. Zhang, Q., Guo, H., Xiao, F., Gao, L., Bondarev, A. B., Han, W. (2009). Influence of anisotropy of the magnesium alloy AZ31 sheets on warm negative incremental forming. *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (15-16), 5514–5520. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2009.05.012>
4. Palumbo, G., Brandizzi, M., Cervelli, G., Fracchiolla, M. (2011). Investigations about the Single Point Incremental Forming of Anisotropic Titanium Alloy Sheets. *Advanced Materials Research*, 264-265, 188–193. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.264-265.188>
5. Seong, D. Y., Haque, M. Z., Kim, J. B., Stoughton, T. B., Yoon, J. W. (2014). Suppression of necking in incremental sheet forming. *International Journal of Solids and Structures*, 51 (15-16), 2840–2849. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2014.04.007>
6. Karajibani, E., Hashemi, R., Sedighi, M. (2016). Forming limit diagram of aluminum-copper two-layer sheets: numerical simulations and experimental verifications. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90 (9-12), 2713–2722. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9585-1>

7. Uscinowicz, R. (2013). Experimental identification of yield surface of Al–Cu bimetallic sheet. *Composites Part B: Engineering*, 55, 96–108. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.06.002>
8. Chen, C.-Y., Kuo, J.-C., Chen, H.-L., Hwang, W.-S. (2006). Experimental Investigation on Earing Behavior of Aluminum/Copper Bimetal Sheet. *MATERIALS TRANSACTIONS*, 47 (9), 2434–2443. doi: <https://doi.org/10.2320/matertrans.47.2434>
9. Bagherzadeh, S., Mirnia, M. J., Mollaei Dariani, B. (2015). Numerical and experimental investigations of hydro-mechanical deep drawing process of laminated aluminum/steel sheets. *Journal of Manufacturing Processes*, 18, 131–140. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2015.03.004>
10. von Mises, R. (1913). *Mechanics of solid bodies in the plastically-deformable state*. Math.-Phys. Klasse, 4. Available at: http://www.neo-classical-physics.info/uploads/3/0/6/5/3065888/von_mises_-_plastic_deformation.pdf
11. Barlat, F., Brem, J. C., Yoon, J. W., Chung, K., Dick, R. E., Lege, D. J. et al. (2003). Plane stress yield function for aluminum alloy sheets – part 1: theory. *International Journal of Plasticity*, 19 (9), 1297–1319. doi: [https://doi.org/10.1016/s0749-6419\(02\)00019-0](https://doi.org/10.1016/s0749-6419(02)00019-0)
12. Simo, J. C., Hughes, T. J. R. (1998). *Computational Inelasticity*. Springer, 392. doi: <https://doi.org/10.1007/b98904>
13. Chung, K., Lee, S. Y., Barlat, F., Keum, Y. T., Park, J. M. (1996). Finite element simulation of sheet forming based on a planar anisotropic strain-rate potential. *International Journal of Plasticity*, 12 (1), 93–115. doi: [https://doi.org/10.1016/s0749-6419\(95\)00046-1](https://doi.org/10.1016/s0749-6419(95)00046-1)
14. Leacock, A. G., Howe, C., Brown, D., Lademo, O.-G., Deering, A. (2013). Evolution of mechanical properties in a 7075 Al-alloy subject to natural ageing. *Materials & Design*, 49, 160–167. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.02.023>
15. Abaqus 6.14. Available at: <http://130.149.89.49:2080/v6.14/>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.260093
APPLICATION OF TOPSIS, MAIRCA AND EAMR METHODS FOR MULTI-CRITERIA DECISION MAKING IN CUBIC BORON NITRIDE GRINDING (p. 58–66)

Trieu Quy Huy

University of Economics-Technology
 for Industries, Vinh Tuy ward, Hanoi, Vietnam
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8231-8148>

Bui Thanh Hien

Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen City, Vietnam
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1530-8406>

Tran Huu Danh

Vinh Long University of Technology Education,
 Vinh Long City, Vietnam
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8918-9879>

Pham Duc Lam

Nguyen Tat Thanh University, Ho Chi Minh City, Vietnam
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8808-9120>

Nguyen Hong Linh

Electric Power University, Hanoi City, Vietnam
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1400-7513>

Vu Van Khoa

National Research Institute
 of Mechanical Engineering, Hanoi City, Vietnam
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3474-2355>

Le Xuan Hung

Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen City, Vietnam
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3223-6280>

Vu Ngoc Pi

Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen City, Vietnam
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8878-5919>

Determining the best cutting mode is a common problem for machining processes as well as for CBN (Cubic Boron Nitride) grinding on Computer Numerical Control (CNC) machines. It is even more important when it is necessary to choose a solution that meets many goals, which are in conflict. This paper presents the results of a multi-criteria decision-making (MCDM) study on CBN grinding of cylindrical-shaped parts on CNC milling machines. Three MCDM methods, including TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), MAIRCA (Multi-Attributive Ideal-Real Comparative Analysis), and EAMR (Evaluation by an Area-based Method of Ranking) were applied in this work. Besides, MEREC (Method based on the Removal Effects of Criteria) and Entropy methods were used to determine the weights of the criteria. In addition, the Taguchi method with L18 orthogonal array (6^4+3^3) design was used for the design of an experiment, which has four input factors including the depth of dressing cut, the spindle speed, the feed rate, and the wheel diameter. Two criteria, including the surface roughness (SR) and the material removal speed (MRS) were selected as the response outputs. The reason for choosing these two criteria is because SR and MRS are two very important output factors of a mechanical machining process as well as of the CBN grinding process on a CNC milling machine. In particular, these two criteria are always in conflict with each other. Small SR requirements will require small values of the feed speed and the depth of cut. This will lead to the reduction of MRS. From the results of this study, the use of different methods for MCDM was evaluated. In addition, rankings of alternatives have been given according to MCDM methods. Furthermore, the best alternative to guarantee both the minimum SR and the maximum MRS has been found.

Keywords: CBN grinding, multi-criteria decision making, MCDM, TOPSIS, MAIRCA, EAMR.

References

1. Mühlbacher, A. C., Kaczynski, A. (2015). Making Good Decisions in Healthcare with Multi-Criteria Decision Analysis: The Use, Current Research and Future Development of MCDA. *Applied Health Economics and Health Policy*, 14 (1), 29–40. doi: <http://doi.org/10.1007/s40258-015-0203-4>
2. Wu, H., Xu, Z., Ren, P., Liao, H. (2018). Hesitant fuzzy linguistic projection model to multi-criteria decision making for hospital decision support systems. *Computers & Industrial Engineering*, 115, 449–458. doi: <http://doi.org/10.1016/j.cie.2017.11.023>
3. Shaikh, S. A., Memon, M., Kim, K.-S. (2021). A Multi-Criteria Decision-Making Approach for Ideal Business Location Identification. *Applied Sciences*, 11 (11), 4983. doi: <http://doi.org/10.3390/app11114983>
4. Rostamzadeh, R., Ismail, K., Zavadskas, E. K. (2014). Multi criteria decision making for assisting business angels in investments. *Technological and Economic Development of Economy*, 20 (4), 696–720. doi: <http://doi.org/10.3846/20294913.2014.984364>
5. Basilio, N., Amigoni, F. (2011). Exploration strategies based on multi-criteria decision making for searching environments in rescue operations. *Autonomous Robots*, 31 (4), 401–417. doi: <http://doi.org/10.1007/s10514-011-9249-9>
6. Caruzzo, A., Belderrain, M. C. N., Fisch, G., Young, G. S., Hanlon, C. J., Verlinde, J. (2018). Modelling weather risk preferences with multi-criteria decision analysis for an aerospace vehicle launch. *Meteorological Applications*, 25 (3), 456–465. doi: <http://doi.org/10.1002/met.1713>

7. Yahyai, S. A., Charabi, Y., Badi, A. A., Gastli, A. (2013). Wind resource assessment using numerical weather prediction models and multi-criteria decision making technique: case study (Masirah Island, Oman). *International Journal of Renewable Energy Technology*, 4 (1), 17–33. doi: <http://doi.org/10.1504/ijret.2013.051070>
8. Çalışkan, H., Kuşuncu, B., Kurbanoglu, C., Güven, Ş. Y. (2013). Material selection for the tool holder working under hard milling conditions using different multi criteria decision making methods. *Materials & Design*, 45, 473–479. doi: <http://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.09.042>
9. Do, D. T. (2021). A combination method for multi-criteria decision making problem in turning process. *Manufacturing Review*, 8, 26. doi: <http://doi.org/10.1051/mfreview/2021024>
10. Duc, T. (2021). Application of TOPSIS and PIV methods for Multi-Criteria Decision Making in hard turning process. *Journal of Machine Engineering*, 21 (4), 57–71. doi: <http://doi.org/10.36897/jme/142599>
11. Varatharajulu, M., Duraiselvam, M., Kumar, M. B., Jayaprakash, G., Baskar, N. (2021). Multi criteria decision making through TOPSIS and COPRAS on drilling parameters of magnesium AZ91. *Journal of Magnesium and Alloys*. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jma.2021.05.006>
12. Do, T. (2021). The Combination of Taguchi – Entropy – WASPAS – PIV Methods for Multi-Criteria Decision Making when External Cylindrical Grinding of 65G Steel. *Journal of Machine Engineering*, 21 (4), 90–105. doi: <http://doi.org/10.36897/jme/144260>
13. Sahu, S. N., Nayak, N. C. (2018). Multi-criteria decision making with PCA in EDM of A2 tool steel. *Materials Today: Proceedings*, 5 (9), 18641–18648. doi: <http://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.209>
14. Vu, N.-P., Nguyen, Q.-T., Tran, T.-H., Le, H.-K., Nguyen, A.-T., Luu, A.-T., Nguyen, V.-T., Le, X.-H. (2019). Optimization of grinding parameters for minimum grinding time when grinding tablet punches by CBN wheel on CNC milling machine. *Applied sciences*, 9 (5), 957. doi: <http://doi.org/10.3390/app9050957>
15. Hwang, C.-L., Lai, Y.-J., Liu, T.-Y. (1993). A new approach for multiple objective decision making. *Computers & Operations Research*, 20 (8), 889–899. doi: [http://doi.org/10.1016/0305-0548\(93\)90109-v](http://doi.org/10.1016/0305-0548(93)90109-v)
16. Nguyen, H.-Q., Le, X.-H., Nguyen, T.-T., Tran, Q.-H., Vu, N.-P. (2022). A Comparative Study on Multi-Criteria Decision-Making in Dressing Process for Internal Grinding. *Machines*, 10 (5), 303. doi: <http://doi.org/10.3390/machines10050303>
17. Pamučar, D.V. L., Lukovac, V. (2014). Selection of railway level crossings for investing in security equipment using hybrid DEMATEL-MARICA model. *Proceedings of the XVI International Scientific-expert Conference on Railways*. Niš: Railcon, 89–92.
18. Amiri, M., Antucheviciene, J. (2016). Evaluation by an area-based method of ranking interval type-2 fuzzy sets (EAMRIT-2F) for multi-criteria group decision-making. *Transform Bus Econ*, 15 (3), 39.
19. Hieu, T. T., Thao, N. X., Thuy, L. (2019). Application of MOORA and COPRAS Models to Select Materials for Mushroom Cultivation. *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*, 17 (4), 322–331.
20. Keshavarz-Ghorabae, M. (2021). Assessment of distribution center locations using a multi-expert subjective-objective decision-making approach. *Scientific Reports*, 11 (1). doi: <http://doi.org/10.1038/s41598-021-98698-y>
21. Athawale, V. M., Chatterjee, P., Chakraborty, S. (2010). Selection of industrial robots using compromise ranking method. *Proceedings of the 2010 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259927
DEVELOPMENT OF BUS BODY TECHNOLOGIES
IN TERMS OF CORROSION AND
DURABILITY (p. 67–75)

Dmytro Ruban

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0671-3226>

Lubomir Kraynyk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0524-9126>

Hanna Ruban

Cherkasy State Business-College, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8702-8430>

Maria Zakharova

Cherkasy State Business-College, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6314-5838>

Sergiy Burmistrov

Cherkasy State Business-College, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3642-2849>

Vladyslav Khotunov

Cherkasy State Business-College, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2093-1270>

Volodymyr Metelap

Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5953-5972>

The object of this study is the technology of bus bodies and the formation of recommendations for design bodywork subject to the regulated durability of the body introduced into production. Advancing the technology of manufacturing bus bodies implies improving anti-corrosion protection, using new polymeric materials, and reducing the length of welds.

The issue of corrosion resistance of bus bodies has been considered. It is established that the use of new polymeric materials will increase the corrosion resistance of bus bodies while existing technologies weakly protect against corrosion (resource up to 5 years). The peculiarity of this study is that the adhesion of new materials has been tested, with artificial aging, which confirms the durability of glued joints.

According to the old technology, the body was exposed to anticorrosive treatment after welding the cladding with uncovered places left between the frame and body cladding, which provoked corrosion. The main idea is that in the new technology, the cladding is welded or glued after the body frame is fully coated with primer.

New technologies and materials not used in the automotive industry have been proposed. Three variants of technologies were put into production. First: the welding of steel zinc sheets. In welding sites, the frame is covered with conductive primer. It was implemented for school buses (after 7 years, without damage). Second: gluing steel zinc sheets. It was implemented for city buses (after 6 years, without damage). Third: gluing sheets from composite materials not used in the automotive industry. The transition to new adhesive cladding technologies from composite corrosion-resistant materials instead of steel sheet, reduces by 2.5–3 times the length of welds (up to 20 years without damage).

The studies have confirmed the strength of glued joints (cohesion rupture exceeds 95 %). The reliability of glued joints and high corrosion resistance of the body have been confirmed in the operation of buses.

The scope of practical use of the results: bus-building plants.

The reported results are suitable for production of all types while cathoretic coatings are only for mass production.

Keywords: bus, body, corrosion, corrosion protection, new technologies, adhesion, adhesive mixtures, alucobond, glued side panels.

References

1. Regulation No 66 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) – Uniform provisions concerning the approval of large passenger vehicles with regard to the strength of their superstructure. Available at: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6d1479db-1195-41eb-837b-8e0de970dcaf/language-en/format-PDF/source-search>
2. Corrosion Cost and Preventive Strategies in the United States. FHWA-RD-01-156. Available at: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/39217>
3. Kowarska, I., Korta, J., Kuczek, K., Uhl, T. (2014). Fully Equipped Dynamic Model of a Bus. *Shock and Vibration*, 2014, 1–9. doi: <https://doi.org/10.1155/2014/201952>
4. Ruban, D., Kraynyk, L., Ruban, H., Sosyk, A., Shcherbyna, A., Dudarenko, O., Artyukh, A. (2021). Forecasting the durability of public transport bus bodies depending on operating conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (112)), 26–33. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238171>
5. Nandhakumar, S., Seenivasan, S., Mohammed Saalih, A., Saifudheen, M. (2021). Weight optimization and structural analysis of an electric bus chassis frame. *Materials Today: Proceedings*, 37, 1824–1827. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.404>
6. Corrosion Protection – Proof That It Matters (2018). Daimler Trucks North America LLC. Available at: <https://thomasbuiltbuses.com/resources/articles/corrosion-protection-proof-that-it-matters/>
7. Saarimaa, V., Kaleva, A., Ismailov, A., Laihinen, T., Virtanen, M., Levänen, E., Väisänen, P. (2022). Corrosion product formation on zinc-coated steel in wet supercritical carbon dioxide. *Arabian Journal of Chemistry*, 15 (3), 103636. doi: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103636>
8. Calovi, M., Rossi, S., Deflorian, F., Dirè, S., Ceccato, R., Guo, X., Frankel, G. S. (2020). Effects of Graphene-Based Fillers on Cathodic Delamination and Abrasion Resistance of Cathaphoretic Organic Coatings. *Coatings*, 10 (6), 602. doi: <https://doi.org/10.3390/coatings10060602>
9. Ruban, D. P., Kraynyk, L. V., Gryshchuk, A. K. (2021). Demand that go in on the following vehicle body of the bodies of the human transport pid ped hour exploitation. *The National Transport University Bulletin*, 1 (48), 293–301. doi: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2021-1-48-293-301>
10. Ruban, D., Kraynyk, L., Kraynyk, Y., Dzoba, V. (2021). Technological principles for providing the durability of bus bodies in the production process. *Journal of Mechanical Engineering and Transport*, 12 (2), 106–111. doi: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2020-12-2-106-111>
11. Rosales, B. M., Vera, R., de Rincon, O. T., Di Sarli, A., Rocha Valenzuela, J. A., Tidblad, J. (2012). Atmospheric Corrosion. *International Journal of Corrosion*, 2012, 1–3. doi: <https://doi.org/10.1155/2012/174240>
12. Riddle, C. L., Marlow, M. J., Bazydlo, M. J. (2000). Pat. No. US6095594A. Exterior body side cladding attachment for a motor vehicle and related method. No. 09/119,802; declared: 21.07.1998; published: 01.08.2000. Available at: <https://patents.google.com/patent/US6095594A/en>
13. Nelson, W. A. (1999). Pat. No. US5925425A. Plastic cladding and body molding parts. declared: 10.06.1992; published: 20.07.1999. Available at: <https://patents.google.com/patent/US5925425A/en>
14. CQP-034. Available at: https://www.organoids.com/uploads/tx_bh/organoid_adhesion_test_sika_1407.pdf?mod=153184213

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.257977**АНАЛІЗ АВАРІЙНОСТІ ГЕОМЕТРИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДОРІГ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПРИДАТНОСТІ (с. 6–14)****Aji Suraji, Agus Taufik Mulyono**

Проектування геометричних елементів доріг має ґрунтуватися на критеріях та вимогах, що містяться в керівництві з проектування. Однак обмеження природних умов та міркування, прийняті при проектуванні, роблять конструкцію дороги не ідеальною відповідно до рекомендацій. Відхилення від рекомендацій можуть вказувати на те, що дорога є нестандартною та потенційно аварійною. Дане дослідження спрямоване на аналіз аварійності з геометричної точки зору дороги. Метою дослідження є з'ясувати, наскільки рівень аварійності зумовлений геометричними умовами дороги. Метод, що використовується в цьому аналізі, полягає у функціональній придатності, при якій кожен елемент дороги порівнюється з польовими даними та рекомендаціями щодо проектування. Збір даних здійснювався шляхом вимірювання геометричних елементів дороги, які включали план та профіль. Місцем збору даних були національні дороги в провінції Джамбі загальною протяжністю 1,095 км. Для проведення аналізу дорожні дані розділені на 82 сегменти. Використовуваний аналітичний метод являє собою множинну регресію з різними статистичними параметрами, пов'язаними з цими результатами. Результати моделювання показують, що коефіцієнти регресії для кожної змінної плану, профілю і комбінації плану та профілю складають 0,248, 0,349 і 1,170 відповідно. Тоді як постійна в цій моделі рівняння регресії дорівнює 3,366. Найбільше значення аварійності припадає на змінні плану та профілю з коефіцієнтом 1,170. Результати статистичних випробувань показують, що взаємозв'язок між аварійністю та геометричним аспектом дороги має сильну лінійну залежність.

Ключові слова: аварійність, геометричні параметри дороги, план, профіль, моделювання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.260045**ВІДНОВЛЕННЯ ТА ТРАНСФОРМАЦІЯ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ CALS-КОНЦЕПЦІЇ В КОНТЕКСТІ РОЗВИТКУ INDUSTRY 4.0 (с. 15–24)****Д. О. Волощевич, О. Є. Скворчевський**

Об'єктом дослідження були процеси відновлення та трансформації високотехнологічного машинобудування із використанням принципів Індустрії 4.0 та CALS-концепції. Вирішена проблема виявлення ідей, концепцій, інструментів та розробки принципів їх застосування для відновлення та трансформації високотехнологічного машинобудування. Показано, що відновлення високотехнологічного машинобудування в країнах, які постраждали внаслідок бойових дій, доцільно проводити із використанням CALS-концепції. Виявлені найбільш першочергові для впровадження CALS-технології та системи. Показана можливість стрибка від рівня Індустрії 2.0 до рівня Індустрії 4.0. для країн, в яких машинобудування сильно постраждало внаслідок бойових дій. Розроблено принципи відновлення та трансформації високотехнологічного машинобудування шляхом впровадження принципів CALS-концепції в контексті розвитку Індустрії 4.0. Запропонована інфраструктура учасників життєвого циклу машинобудівної продукції. Розроблена модель оптимізації виробничої програми обороно-промислового комплексу. В моделі враховані нелінійності, пов'язані із оптимізацією виробничої програми, а також стохастичний характер змін параметрів моделі. Запропонований адаптивний підхід, що дозволяє проводити оптимізацію виробничої програми за моделлю навіть спеціалістам без спеціальної математичної підготовки. Визначені пріоритети післявоєнної відбудови високотехнологічного машинобудування. Дослідження дасть можливість в якнайшвидші терміни трансформувати та відновити зруйновану внаслідок військових дій машинобудівну галузь. Умовою практичного використання даного дослідження є припинення бойових дій.

Ключові слова: машинобудування, Continuous Acquisition and Life-Cycle Support, Індустрія 4.0, Shared Data Environment, оптимізаційна модель.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258550**РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕІНЖИНІРИНГУ ДЛЯ СКОРОЧЕННЯ ТЕРМІНІВ ТЕХНІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА АГРЕГАТІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ (с. 25–32)****В. Т. Сікульський, К. В. Майорова, Ю. А. Воробйов, М. М. Бойко, О. Л. Комісаров**

Об'єктом дослідження є технічна підготовка виробництва (ТПВ) авіаційної техніки (АТ) із застосуванням технології реінжинірингу. Було вирішено проблему зниження термінів ТПВ АТ при вирішенні прямих та зворотних завдань формоутворення з використанням реінжинірингу. Дослідження засноване на рівнянні розрахунку трудомісткості створення складальної одиниці (СО) як математичної моделі формування та накопичення складових загальної трудомісткості на всіх етапах. Отримано такі результати. Запропоновано схему ув'язування однорідних складових частин (СЧ) виробу, отриманих із використанням плазово-шаблонного методу (ППМ), з аналітичним еталоном (АЕ) при застосуванні методу реінжинірингу. Схема узагальнює та структурує технологію реінжинірингу для вирішення прямих та зворотних завдань формоутворення та може бути використана для вирішення завдань прототипування, виготовлення та відновлення оснащення, а також контролю виробів на всіх етапах виробництва. На прикладі стабілізатора вертольота показано, що при вирішенні прямого завдання формоутворення трудомісткість складає від 294,94 до 315,06 люд.-год, а при вирішенні зворотного завдання – від 194,78 до 213,22 люд.-год. Порівняльний аналіз трудомісткості ТПВ виявив відмінності у 1,5 рази на користь трудомісткості вирішення зворотного завдання. Порівняння трудомісткості створення АЕ стабілізатора вертольота дозволило встановити, що трудомісткість розв'язання зворотного завдання у 3,7 разів менша за трудомісткість вирішення прямого завдання. Надано рекомендації для скорочення термінів ТПВ АТ із застосуванням реінжинірингу. Отримані результати можна

використовувати для оцінки трудомісткості та термінів виконання ТПВ АТ та в цілому об'єктів машинобудування при застосуванні технології реінжинірингу.

Ключові слова: технічна підготовка виробництва, реінжиніринг, складальна одиниця, аналітичний еталон, авіаційна техніка.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.257013

ОЦІНКА ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ БАЗОВИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ПІДСТАВІ МОДЕЛІ ВТОМНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ПРИ КОМПЛЕКСНОМУ НАВАНТАЖЕННІ (с. 33–41)

С. В. Білодіденко, О. М. Гречаний, В. І. Гануш, А. О. Власов

Стаття присвячена розробці моделі довговічності базових конструкцій, яка враховує складний напружений стан при циклічній дії комплексного навантаження. Класифікація моделей для врахування цього чинника надана за ознакою еквівалентування по певному показнику напружено-деформованого стану. Найбільш ефективним визнаються моделі еквівалентування за дотичними напруженнями і деформаціями. Але вони працюють при відношенні меж втоми за дотичними і нормальними напруженнями більшим від 0,5. До того ж, визначення останніх потребує специфічного випробувального обладнання. Сформульовано поняття про базові несучі конструкції промислового устаткування. Проблема багатовісної втоми базових конструкцій розглянуто з позицій об'єднання показників надійності систем. Модель довговічності виведено з правила об'єднання ресурсних індексів безпеки. Навантаження представляється як комбінація окремих субпроцесів простих типів деформування зі своїми амплітудами і асиметріями. Розроблена модель довговічності при багатовісній втомі, яка враховує параметри форми циклу деформування, тип процесу (синфазний, непропорційний, незмінне статичне напруження). Підтверджена можливість отримання параметрів моделі багатовісної втоми при випробуваннях на три точковий згин за умов варіювання кратності прольоту. По такій схемі проведено втомні випробування призматичних зразків сталей 09Г2 та 40Х. Для них знайдено параметри опору втомі, а також встановлено відношення межі втоми для дотичних напружень зсуву і межі втоми для нормальних напружень згину, яке дорівнює 0,385. Розроблено методіку випробувань для визначення первісних даних для моделі багатовісної втоми, яка придатна для звичайних випробувальних машин і зразків простої форми. Остання перевага важлива саме для базових конструкцій, з фрагментів яких важко виготовити зразок складної форми.

Ключові слова: базові несучі конструкції, багатовісна втома, індекс безпеки, зсувні напруження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.256954

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГНУЧКОЇ ОБОЛОНКИ ПНЕВМОРЕСОРИ З ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ (с. 42–49)

В. Г. Маслів, В. В. Дущенко, В. В. Єпіфанов, О. М. Агапов, А. О. Маслів, Р. А. Нанівський

Пневморесори дозволяють реалізувати «м'яку» характеристику підвіски транспортних засобів, що забезпечує комфортні умови для пасажирів та зменшення динамічного навантаження на дорожнє покриття. Актуальним залишається питання міцності гнучких оболонок пневморесор, які виготовляють із гумо корду. Деформації розтягування гнучких оболонок, що виникають в процесі руху, викликають розриви гумо корду, що знижує їх надійність. На часі спостерігається світова тенденція до заміни гумо корду на полімерні матеріали. Представлено дослідження міцності двошовної гнучкої оболонки балонного типу при різних режимах роботи пневморесори. Дослідження проведено з використанням методу скінчених елементів. Особливістю конструкції пневморесори є те, що діаметри дниць та міжшовного кільця збільшено до величини зовнішнього діаметра гнучкої оболонки, щоб підвищити стійкість та демпфуючі властивості пневмопідвіски. Гнучка оболонка пневморесори виготовлена із полімерного матеріалу. Доведено, що напруження у матеріалі гнучкої оболонки зростають пропорційно до тиску повітря у її порожнині, а найбільші їх значення спостерігаються у місцях, де гнучка оболонка закріплена до дниць. При наближенні до екватора оболонки вони поступово зменшуються в середньому на 20 % у обох гофрах. Збільшення радіуса екватора у обох гофрах гнучкої оболонки не перевищувало 20 мм. При взаємному поперечному зміщенні дниць на 40 мм і надлишковому тиску повітря 0,5 та 1,0 МПа напруження у матеріалі гнучкої оболонки склали 2,9 МПа та 5,9 МПа – відповідно. Це майже у п'ять разів менше за межу міцності матеріалу на розрив (30 МПа). Отже, обрані параметри забезпечують міцність гнучкої оболонки пневморесори: її можна рекомендувати для використання на транспортних засобах.

Ключові слова: пневмопідвіска транспортного засобу, міцність гнучкої оболонки пневморесори, напруження у полімерному матеріалі гнучкої оболонки пневморесори.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.256225

ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АНІЗОТРОПІЇ НА ДЕФОРМАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ДВОШАРОВИХ АЛЮМІНІЄВИХ ЛИСТІВ ПРИ ОДНОТОЧКОВОМУ ІНКРЕМЕНТАЛЬНОМУ ФОРМУВАННІ МЕТАЛУ (с. 50–57)

Bassam Abdullah Mohammed, Raed Sabri Batbooti, Tahseen Ali Jabbar

Анізотропія металів є важливою властивістю, яка має значний вплив на точність розмірів деталей при виробництві. У процесах формування металів значна увага приділяється багатошаровим композитним листам, оскільки вони можуть поєднувати в собі переваги матеріалів з різними механічними властивостями. У даному дослідженні визначається вплив анізотропії в процесі одноточкового інкрементного формування (SPIF) двошарових алюмінієвих листів. Для визначення впливу розташування шарів та анізотропії металевих листів щодо напрямку прокатки використовується метод скінчених елементів (МКЕ). Для ефективного опису анізотропії листового металу двовимірна функція плинності Yld2000-2D реалізована у програмному забезпеченні Abaqus з використанням підпрограми матеріалів (VUMAT). Розрахунок та калібрування коефіцієнтів Yld2000-2D відповідно до експериментальних даних проводили з використанням коду MATLAB. Для порівняння коефіцієнтів анізотропії Yld2000-2D були замінені одиничними значеннями в тій же VUMAT для дослідження поведінки при формуванні в разі ізотропії з функцією плинності фон Мізеса. Анізотропні та ізотропні моделі порівнюються в кінчній геометрії шляхом оцінки еквівалентної пластичної деформації, товщини листа та сил реакції формувального інструменту. Отримані результати показують, що анізотропія листового металу викликає менші зміни властивостей

матеріалу в порівнянні з ізотропним випадком, що істотно впливає на жорсткість і, отже, на точність розмірів остаточної форми формованої деталі. Результати дослідження мають практичне застосування, оскільки вони можуть бути використані при визначенні стратегій для анізотропного біметалічного листа з метою поліпшення процесів формування матеріалів.

Ключові слова: анізотропія, інкрементне формування металів, алюмінієві сплави, двошаровий лист, аналіз методом кінцевих елементів, Yld2000-2D.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.260093

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ TOPSIS, MAIRCA ТА EAMR ДЛЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ШЛІФУВАННІ КРУГАМИ З КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ (с. 58–66)

Trieu Quy Huy, Bui Thanh Hien, Tran Huu Danh, Pham Duc Lam, Nguyen Hong Linh, Vu Van Khoa, Le Xuan Hung, Vu Ngoc Pi

Визначення найкращого режиму різання є поширеною задачею у процесах механічної обробки, а також шліфування кругами з КНБ (кубічного нітриду бору) на верстатах з числовим програмним управлінням (ЧПУ). Тим більше, коли необхідно вибрати рішення, що відповідає багатьом цілям, які суперечать одна одній. У статті представлені результати дослідження багатокритеріального прийняття рішень (БКПР) щодо шліфування кругами з КНБ деталей циліндричної форми на фрезерних верстатах з ЧПУ. У роботі застосовувалися три методи БКПР, включаючи TOPSIS (метод упорядкованої переваги через подібність до ідеального рішення), MAIRCA (мультиатрибутний порівняльний аналіз реального та ідеального) і EAMR (оцінка методом зонального ранжування). Крім того, для визначення вагових коефіцієнтів критеріїв використовувалися методи MEREC (метод, заснований на ефектах видалення критеріїв) та Entropy (ентропії). Також для планування експерименту, що має чотири вхідних фактори, включаючи глибину різання, швидкість обертання шпинделя, швидкість подачі та діаметр круга, був використаний метод Тагучі з ортогональною матрицею L18 (6^4+3^{13}). В якості відповідних даних були обрані два критерії, включаючи шорсткість поверхні (ШП) і швидкість знімання матеріалу (ШЗМ). Вибір даних критеріїв обумовлений тим, що ШП та ШЗМ є двома дуже важливими вихідними факторами у процесі механічної обробки, а також шліфування кругами з КНБ на верстаті з ЧПУ. Зокрема, ці два критерії завжди суперечать один одному. Малі вимоги до ШП вимагатимуть невеликих значень швидкості подачі та глибини різання, що призведе до скорочення ШЗМ. За результатами дослідження було оцінено застосування різних методів для БКПР. Крім того, були дані рейтинги альтернативних рішень відповідно до методів БКПР. Також було знайдено найкраще альтернативне рішення, що гарантує як мінімальну ШП, так і максимальну ШЗМ.

Ключові слова: шліфування кругами з КНБ, багатокритеріальне прийняття рішень, БКПР, TOPSIS, MAIRCA, EARM.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259927

РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЙ КУЗОВА АВТОБУСА В АСПЕКТІ КОРОЗІЇ І ДОВГОВІЧНОСТІ (с. 67–75)

Д. П. Рубан, Л. В. Крайник, Г. Я. Рубан, М. В. Захарова, С. В. Бурмістров, В. І. Хотунов, В. В. Метеллап

Об'єкт дослідження – технології кузовів автобусів та формування рекомендацій для проектних кузовних робіт з умов регламентованої довговічності кузова, що впроваджується у виробництво. Розвиток технології виготовлення кузовів автобусів полягає у поліпшенні антикорозійного захисту, застосуванням нових полімерних матеріалів та зменшення протяжності зварних швів.

Розглянуто проблему корозійної стійкості кузовів автобусів. Встановлено, що застосування нових полімерних матеріалів дозволить підвищити корозійну стійкість кузовів автобусів, а існуючі технології слабо захищають від корозії (ресурс до 5 років). Особливість даного дослідження: перевірено адгезію нових матеріалів, при штучному старінні, що підтверджує довговічність клеєних з'єднань.

За старою технологією – антикорозійна обробка кузова після приварювання облицювання з непокритими місцями між каркасом та облицюванням кузова, що провокувало корозію. Основна ідея полягає в тому, що у новій технології облицювання приварюється або приклеюється після повного покриття каркасу кузова ґрунтом.

Запропоновано нові технології та матеріали, не застосовані в автомобілебудуванні. Три варіанти технологій впроваджені у виробництво. Перший: приварка сталевих цинкованих листів. У місцях зварювання каркас покривається струмопровідним ґрунтом. Впроваджено для шкільних автобусів (після 7 років без ушкоджень). Другий: приклеювання сталевих цинкованих листів. Впроваджено для міських автобусів (після 6 років без ушкоджень). Третій: приклеювання листів з композитних матеріалів, не використовуваних у автомобілебудуванні. Перехід на нові клеєві технології облицювання з композитних корозійностійких матеріалів взамін сталевих листів, скорочує у 2,5–3 рази довжину зварних швів (до 20 років без ушкоджень).

Проведені дослідження підтвердили міцність клеєних з'єднань (когезійний розрив більше 95%). Підтверджено в експлуатації автобусів надійність клеєних з'єднань та високу корозійну стійкість кузова.

Сфера практичного використання отриманих результатів: автобусобудівні заводи.

Отримані результати підходять для виробництв всіх типів, а катафорезні покриття тільки для масового виробництва.

Ключові слова: автобус, кузов, корозія, антикорозійний захист, нові технології, адгезія, клеєві суміші, алюкобонд, приклеєні бічні панелі.