

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242707

RESEARCH ON STRUCTURE AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF MULTI-CHANNEL COLD SPRAYING NOZZLE (p. 6–14)**Wenjie Hu**National Aerospace University
«Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine
Nanchang Institute of Technology, Nanchang,
Jiangxi Province, ChinaORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9540-1912>**Kun Tan**National Aerospace University
«Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4889-785X>**Sergii Markovych**National Aerospace University
«Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8321-2786>**Tingting Cao**Nanchang Hangkong University, Nanchang,
Jiangxi Province, China
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6105-9960>

Cold spraying technology is a method to obtain coating by the high-speed collision of particles with the substrate through supersonic (300–1200 m/s) propulsion gas. The deposition process is mainly mechanical bonding, which has attracted more and more attention in engineering applications. The critical component of a cold spraying system is the nozzle. The performance of the nozzle directly affects the quality of the material surface coating. Therefore, the discussion of the nozzle is of great significance. At present, there are many examples of cold spraying single-channel nozzles in engineering, but there are few reports about multi-channel cold spraying nozzles. This paper explores and studies the multi-channel cold spraying nozzle, designs a special three internal channel nozzle, and adopts a 90° angle in the divergent section of the nozzle. When spraying in a small area, the nozzle with angle has apparent advantages for spraying more areas. The powder injection pressure, particle size, recovery coefficient, and internal channel position are analyzed, which affect the particle trajectory. Combined with these factors, the multi-channel nozzle is optimized and improved to solve the problem of particle collision with the inner wall of the nozzle. Finally, the technological parameters of aluminum, titanium, copper, nickel, magnesium, and zinc powders are preliminarily studied using the multi-channel nozzle. The results show that the multi-channel nozzle meets the critical velocity requirements of copper, magnesium, and zinc powder spraying in the homogeneous (powder and matrix are the same material) and aluminum powder spraying in the case of heterogeneous (powder and matrix are different materials), the multi-channel nozzle has a sound engineering application prospect and provides a specific reference for relevant technicians.

Keywords: cold spraying technology, multi-channel nozzle, particle trajectory, particle collision, critical velocity.

References

- Goyal, T., Sidhu, T. S., Walia, R. S. (2013). An overview on cold spray process over competitive technologies for electro-technical applications. Presentation made at The National Conference on Advancements and Futuristic Trends in Mechanical and Materials Engineering, YCoE, Talwandi Sabo.
- Oyinbo, S. T., Jen, T.-C. (2019). A comparative review on cold gas dynamic spraying processes and technologies. *Manufacturing Review*, 6, 25. doi: <https://doi.org/10.1051/mfreview/2019023>
- Moridi, A., Hassani-Gangaraj, S. M., Guagliano, M., Dao, M. (2014). Cold spray coating: review of material systems and future perspectives. *Surface Engineering*, 30 (6), 369–395. doi: <https://doi.org/10.1179/1743294414y.0000000270>
- Marrocco, T., McCartney, D. G., Shipway, P. H., Sturgeon, A. J. (2006). Production of Titanium Deposits by Cold-Gas Dynamic Spray: Numerical Modeling and Experimental Characterization. *Journal of Thermal Spray Technology*, 15 (2), 263–272. doi: <https://doi.org/10.1361/105996306x108219>
- Assadi, H., Gärtner, F., Stoltenhoff, T., Kreye, H. (2003). Bonding mechanism in cold gas spraying. *Acta Materialia*, 51 (15), 4379–4394. doi: [https://doi.org/10.1016/s1359-6454\(03\)00274-x](https://doi.org/10.1016/s1359-6454(03)00274-x)
- Raelison, R. N., Xie, Y., Sapanathan, T., Planche, M. P., Kromer, R., Costil, S., Langlade, C. (2018). Cold gas dynamic spray technology: A comprehensive review of processing conditions for various technological developments till to date. *Additive Manufacturing*, 19, 134–159. doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.07.001>
- Singh, H., Sidhu, T. S., Kalsi, S. B. S. (2012). Cold spray technology: future of coating deposition processes. *Frattura Ed Integrità Strutturale*, 6 (22), 69–84. doi: <https://doi.org/10.3221/igf-esis.22.08>
- Sun, W., Tan, A. W. Y., Marinescu, I., Toh, W. Q., Liu, E. (2017). Adhesion, tribological and corrosion properties of cold-sprayed CoCrMo and Ti₆Al₄V coatings on 6061-T651 Al alloy. *Surface and Coatings Technology*, 326, 291–298. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.07.062>
- MacDonald, D., Fernández, R., Delloro, F., Jodoin, B. (2016). Cold Spraying of Armstrong Process Titanium Powder for Additive Manufacturing. *Journal of Thermal Spray Technology*, 26 (4), 598–609. doi: <https://doi.org/10.1007/s11666-016-0489-2>
- Zhang, J. H., Sun, R. (2014). Research progress of laser cladding on titanium alloy surface. *Material review*, 28 (6), 89–93.
- Pan, X. Y., Liang, W. P., Miu, Q., Ren, B. L., Liu, W. (2016). Tribological Behavior of Plasma Chromized Layer on TC21 Alloy at different temperatures. *Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics*, 48 (1), 35–41. doi: <https://doi.org/10.16356/j.1005-2615.2016.01.006>
- Hu, W., Markovych, S., Tan, K., Shorinov, O., Cao, T. (2020). Surface repair of aircraft titanium alloy parts by cold spraying technology. *Aerospace Technic and Technology*, 3, 30–42. doi: <https://doi.org/10.32620/akt.2020.3.04>
- Karthikeyan, J. (2007). The advantages and disadvantages of the cold spray coating process. *The Cold Spray Materials Deposition Process*, 62–71. doi: <https://doi.org/10.1533/9781845693787.1.62>

14. Meyer, M., Lupoi, R. (2015). An analysis of the particulate flow in cold spray nozzles. *Mechanical Sciences*, 6 (2), 127–136. doi: <https://doi.org/10.5194/ms-6-127-2015>
15. Cavaliere, P., Silvello, A. (2016). Mechanical properties of cold sprayed titanium and nickel based coatings. *Surface Engineering*, 32 (9), 670–676. doi: <https://doi.org/10.1179/1743294415y.00000000080>
16. Chen, Q.-Y., Zou, Y.-L., Chen, X., Bai, X.-B., Ji, G.-C., Yao, H.-L. et. al. (2019). Morphological, structural and mechanical characterization of cold sprayed hydroxyapatite coating. *Surface and Coatings Technology*, 357, 910–923. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.10.056>
17. Tewes, J. (2013). Advancements in cold Spray. CSAT Summer Meeting. Available at: <https://docplayer.net/39787940-Advancements-in-cold-spray.html>
18. Zhou, X. L., Zhang, J. S., Wu, X. K. (2011). *Advanced Cold Spraying Technology and Application*. Machinery Industry Press.
19. Li, Q. (2008). Structure design and optimization of cold spray gun. Shenyang University of Technology. Available at: <http://cdmd.cnki.com.cn/article/cdmd-10142-2008203950.htm>
20. Arndt, A., Pyritz, U., Schiewe, H., Ullrich, R. (2008). WO2008084025 - Method and device for the cold-gas spraying of particles having different solidities and/or ductilities. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2008084025&tab=PCTBIBLIO>
21. Wu, Z. L. (2011). Numerical simulation research of the internal flow field cold of the spray gun nozzle and structural optimization, Henan Polytechnic University.
22. Irissou, E., Legoux, J.-G., Ryabinin, A. N., Jodoin, B., Moreau, C. (2008). Review on Cold Spray Process and Technology: Part I – Intellectual Property. *Journal of Thermal Spray Technology*, 17 (4), 495–516. doi: <https://doi.org/10.1007/s11666-008-9203-3>
23. Li, W.-Y., Li, C.-J. (2005). Optimal Design of a Novel Cold Spray Gun Nozzle at a Limited Space. *Journal of Thermal Spray Technology*, 14 (3), 391–396. doi: <https://doi.org/10.1361/105996305x59404>
24. Canales, H., Litvinov, A., Markovych, S., Dolmatov, A. (2014). Calculation of the critical velocity of low pressure cold sprayed materials. *Questions of design and production of designs of aircraft*, 3, 86–91. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pptvk_2014_3_11
25. Cao, T. T., Yang, Y. X., Hu, W. J. (2021). Pat. No. CN212688180U. The gas path protection device for cold spraying. Available at: <https://wenku.baidu.com/view/7f5efcecf8d6195f312b3169a45177232e60e4c8>
26. Dolmatov, A. I., Polyviany, S. A. (2021). Interaction of Solid Particles from a Gas Stream with the Surface of a Flat Nozzle. *METALLOFIZIKA I NOVEISHIE TEKHNOLOGII*, 43 (3), 319–328. doi: <https://doi.org/10.15407/mfint.43.03.0319>
27. Hu, W. J., Tan, K., Markovych, S., Liu, X. L. (2021). Study of a Cold Spray Nozzle Throat on Acceleration Characteristics via CFD. *Journal of Engineering Sciences*, 8 (1), F19–F24. doi: [https://doi.org/10.21272/jes.2021.8\(1\).f3](https://doi.org/10.21272/jes.2021.8(1).f3)
28. Grujicic, M., Zhao, C. L., Tong, C., DeRosset, W. S., Helfrich, D. (2004). Analysis of the impact velocity of powder particles in the cold-gas dynamic-spray process. *Materials Science and Engineering: A*, 368 (1-2), 222–230. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2003.10.312>
29. Li, C.-J., Li, W.-Y., Liao, H. (2006). Examination of the Critical Velocity for Deposition of Particles in Cold Spraying. *Journal of Thermal Spray Technology*, 15 (2), 212–222. doi: <https://doi.org/10.1361/105996306x108093>
30. Van Steenkiste, T. H., Smith, J. R., Teets, R. E. (2002). Aluminum coatings via kinetic spray with relatively large powder particles. *Surface and Coatings Technology*, 154 (2-3), 237–252. doi: [https://doi.org/10.1016/s0257-8972\(02\)00018-x](https://doi.org/10.1016/s0257-8972(02)00018-x)
31. Cao, C. C., Li, W. Y., Han, T. P., Yang, X. Y., Xu, Y. X., Hu, K. W. (2019). Simulation study on effect of cold spray nozzle material on particle Acceleration Behavior. *Journal of Netshape Forming Engineering*, 6 (11), 149–153. Available at: <https://global.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?filename=JMCX201906023&dbcode=CJFQ&dbname=CJFD2019&v=>
32. Alhulaifi, A. S., Buck, G. A. (2014). A Simplified Approach for the Determination of Critical Velocity for Cold Spray Processes. *Journal of Thermal Spray Technology*, 23 (8), 1259–1269. doi: <https://doi.org/10.1007/s11666-014-0128-8>
33. Yang, Y., Hao, Y., Kong, L. Y., Cui, X. Y., Wu, J., Li, T. F., Xiong, T. Y. (2015). Research on Critical Velocity of Particle during Cold Spray Process. *Thermal spray technology*, 7 (4), 1–16. Available at: <http://61.143.209.103:81/article/detail.aspx?id=667740126>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.240108
DEVISING A CONCEPT OF INTEGRATED DESIGN AND MODELING OF AIRCRAFT (p. 15–23)

Oleksandr Grebenikov

National Aerospace University
 «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1509-0665>

Andrii Humennyi

National Aerospace University
 «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1020-6304>

Oleksandr Dveirin

ANTONOV Company, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5231-1033>

Oleksandr Soboliev

National Aerospace University
 «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2151-003X>

Lilia Buival

National Aerospace University
 «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3374-7720>

The analysis of aircraft design methods reported here has revealed that building a competitive aircraft necessitates devising a scientifically based concept of integrated aircraft design employing CAD/CAM/CAE/PLM software suites.

A generalized concept of integrated design and three-dimensional computer modeling of aircraft involving the CAD/CAM/CAE/PLM systems has been developed. Based on the proposed concept, the principles of integrated design of aircraft were devised. The features of designing the training and training-combat aircraft, transport-category aircraft, light civilian aircraft have been described.

A method for determining the take-off weight, design parameters, and formation of the general appearance of air-

craft has been improved. The method is intended to form the appearance of the aircraft at the stages of preliminary design, the purpose of which is reduced to determining the permissible version of the aircraft project. The project must meet the predefined requirements and restrictions in the selected aircraft scheme and the assigned set of parameters that characterize its airframe and power plant.

A method of parametric modeling of aircraft has been improved, which includes the stages of creating a master geometry of the aircraft and a model of space distribution. Parametric models of master geometry and models of space distribution, training and training-combat aircraft, transport-category aircraft, light civilian aircraft have been constructed.

Methods of integrated design of aircraft main units have been devised and theoretically substantiated. Parametric models of master geometry of the wing for a training aircraft, the wings, appendage, and fuselage of a light civilian aircraft were built, taking into consideration the design features of aircraft units of various categories.

Keywords: integrated aircraft design, master geometry, concept, three-dimensional parametric modeling, takeoff mass.

References

- Ren, H., Chen, X., Chen, Y. (2017). Reliability Based Aircraft Maintenance Optimization and Applications. Academic Press, 260. Available at: <https://www.elsevier.com/books/reliability-based-aircraft-maintenance-optimization-and-applications/ren/978-0-12-812668-4>
- Eger, S. M., Mishin, V. F., Liseyev, N. K. et. al.; Eger, S. M. (Ed.) (1983). Proektirovanie samoletov. Moscow: Mashinostroenie, 616.
- Vyshinsky, L. L., Flerov, Yu. A., Shirokov, N. I. (2018). Computer-aided system of aircraft weight design. Informatics and Applications, 12 (1), 18–30. doi: <https://doi.org/10.14357/19922264180103>
- Bratuhin, A. G. (Ed.) (2000). Aviaostroenie: Letatel'nye apparaty, dvigateli, sistemy, tekhnologii. Moscow: Mashinostroenie, 536.
- Kumar, K. C. N., Gupta, G., Lakhera, S., Shaikh, A. (2015). Structural Optimization of Composite Stiffened Panel of a Transport Aircraft Wing using CAE Tools. Materials Today: Proceedings, 2 (4-5), 2588–2594. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.213>
- Manca, A. G., Pappalardo, C. M. (2020). Topology Optimization Procedure of Aircraft Mechanical Components Based on Computer-Aided Design, Multibody Dynamics, and Finite Element Analysis. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 159–168. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-50491-5_16
- Vieira, D. R., Vieira, R. K., Chain, M. C., Vieira, A. K. (2019). Features of integration management tools in the aviation industry. International Journal of Product Lifecycle Management, 12 (1), 20. doi: <https://doi.org/10.1504/ijplm.2019.104355>
- Global Market Forecast 2019-2038. Airbus. Available at: <https://www.airbus.com/aircraft/market/global-market-forecast.html>
- Loginov, V. V., Elanskiy, A. V., Kravchenko, I. F. (2016). Metodologicheskie osnovy formirovaniya parametricheskogo oblika silovoy ustanovki perspektivnogo uchebno-boevogo samoleta. Kharkiv: HUVS im. Ivana Kozheduba, 294.
- FAA Aerospace Forecasts Fiscal Years 2020–2040. Federal Aviation Administration. Available at: https://www.faa.gov/data_research/aviation/aerospace_forecasts/media/FY2020-40_faa_aerospace_forecast.pdf
- Torenbeek, E. (2013). Advanced Aircraft Design: Conceptual Design, Analysis and Optimization of Subsonic Civil Airplanes. John Wiley and Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118568101>
- Sforza, P. (2014). Commercial Airplane Design Principles. Butterworth-Heinemann, 598.
- Benaouali, A., Kachel, S. (2017). An automated CAD/CAE integration system for the parametric design of aircraft wing structures. Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 55 (2), 447–459. doi: <https://doi.org/10.15632/jtam-pl.55.2.447>
- Gudmundsson, S. (2014). General Aviation Aircraft Design. Applied Methods and Procedures. Butterworth-Heinemann. doi: <https://doi.org/10.1016/C2011-0-06824-2>
- Balabuev, P. V., Bychkov, S. A., Grebenikov, A. G., Zheldochenko, V. N., Kobylanskiy, A. A., Myalitsa, A. K. et. al. (2003). Osnovy obshego proektirovaniya samoletov s gazoturbinnymi dvigatelyami. Ch. 2. Kharkiv: Nats. aerokosm. un-t «KhAI», 390.
- Grebenikov, A. G. (2006). Metodologiya integrirovannogo proektirovaniya i modelirovaniya sbornyh samoletnyh konstruktivnykh. Kharkiv: Nats. aerokosm. un-t «KhAI», 532.
- Gumennyi, A. M., Nikolaenko, V. N., Grebenikov, V. A., Petrov, A. N. (2005). Metod integrirovannogo proektirovaniya i komp'yuternogo modelirovaniya kryla passazhirs-kogo samoleta s pomosh'yu integrirovannykh sistem CAD/CAM/CAE/PLM. Otkrytye informatsionnye i komp'yuternye integrirovannye tekhnologii, 27, 8–30.
- Donets, O. D., Dveirin, O. Z., Vasylevskyi, Ye. T., Fil, S. A., Hrebenikov, O. H., Humennyi, A. M. (2019). Design features of the regional passenger aircraft airframe. Open Information and Computer Integrated Technologies, 83, 4–27. doi: <https://doi.org/10.32620/oikit.2019.83.01>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.241268

THERMAL EFFECT OF A FIRE ON A STEEL BEAM WITH CORRUGATED WALL WITH FIREPROOF MINERAL-WOOL CLADDING (p. 24–32)

Valeriia Nekora

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4354-4422>

Stanislav Sidnei

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7664-6620>

Taras Shnal

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4226-9513>

Olga Nekora

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5202-3285>

Ludmila Lavrinenko

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5601-0943>

Serhii Pozdieiev

Cherkasy Institute of Fire Safety
named after Chernobyl Heroes of National University
of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9085-0513>

This paper reports a study into the possibility of applying a simplified approach, recommended by standards for conventional steel beams, to determine the heating temperature under the conditions of a fire in relation to steel I-beams with a corrugated wall. The research is predetermined by the limitation of methods that make it possible to determine the heating temperature of this type of beam in a fire using engineering methods with a small amount of calculations.

Technical data on steel beams with cladding have been considered for calculation, the features of heat impact of fire on them have been analyzed, a calculation procedure has been devised, the estimation schemes have been built, and the calculations have been performed. Data on the temperature distribution in the cross-sections of beams with and without cladding were obtained by using a simplified method recommended by standards and the refined method based on a finite-element method.

Mathematical models have been constructed for calculations that describe the effect of a standard temperature regime of fire on the distribution of temperature in each minute in the cross-sections of steel beams with and without cladding. The models have been described on the basis of the differential equation of thermal conductivity, boundary conditions of the third kind, which take into consideration convective and radiant heat transfer.

It was established that the mineral wool cladding of the beam with a corrugated wall is a reliable fire protection agent. The heating temperature of the beam does not reach a critical value of 500 °C in 60 minutes, which provides the class of this beam with the most stringent requirements for its fire resistance in accordance with the classification in line with the acting norms in Ukraine.

The simplified method, recommended by the current standards of the European Union and Ukraine, could be effectively used to analyze the fire resistance of these beams and is the basis of the procedure for the estimated assessment of the fire resistance of these structures.

Keywords: steel beam with corrugated wall, standard temperature regime, temperature distributions.

References

1. TU U V.2.6-28.1-30653953-007:2007. Balki dvutavrovye gofirovannye oblegchennye (gofro-balki). Rekomendatsii po proektirovaniyu (chetvertaya redaktsiya) (2008). Kharkiv: AO «Metallist SMK», 97.
2. Pichugin, S. F., Chichulin, V. P., Chichulin, K. V., Fedorov, B. V. (2011). Financial viability of the use of new types of light beams with the corrugated web. *Zbirnyk naukovykh prats [Poltavskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu im. Yu. Kondratiuka]*. Ser.: Haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo, 2, 149–155.
3. Raviraj, Dr. S. Design Of Beams With Corrugated Web. Built Constructions. Available at: <http://www.builtconstructions.in/OnlineMagazine/Bangalore/Pages/Design-Of-Beams-With-Corrugated-Web-310.aspx>
4. Vassart, O., Zhao, B., Cajot, L.-G., Robert, F., Meyer, U., Franzi, A. (2014). Eurocodes: background & applications. Structural Fire Design. Worked examples. Luxemburg: Publications Office of the European Union, 252. doi: <http://doi.org/10.2788/85432>
5. Lavrinenko, L., Nekora, V. (2020). The fire heating of steel girders with corrugated webs. *Building Constructions. Theory and Practice*, 6, 12–21. doi: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.6.2020.12-21>
6. Vasilchenko, A., Otrosh, Y., Adamenko, N., Doronin, E., Kovalov, A. (2018). Feature of fire resistance calculation of steel structures with intumescent coating. *MATEC Web of Conferences*, 230, 02036. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002036>
7. Kovalov, A., Otrosh, Y., Chernenko, O., Zhuravskij, M., Anszczak, M. (2021). Modeling of Non-Stationary Heating of Steel Plates with Fire-Protective Coatings in Ansys under the Conditions of Hydrocarbon Fire Temperature Mode. *Materials Science Forum*, 1038, 514–523. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1038.514>
8. Vasilchenko, A., Doronin, E., Ivanov, B., Konoval, V. (2019). Effect of Residual Deformation of a Steel Column on its Fire Resistance under Combined Exposure «Explosion-Fire». *Materials Science Forum*, 968, 288–293. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.288>
9. Otrosh, Y., Surianinov, M., Golodnov, A., Starova, O. (2019). Experimental and Computer Researches of Ferroconcrete Beams at High-Temperature Influences. *Materials Science Forum*, 968, 355–360. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.355>
10. Pozdieiev, S., Nuianzin, O., Borsuk, O., Nedilko, I. (2021). Research of Integrity of Fire Insulation Cladding with Mineral Wool of Steel Beam under Fire Impact. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1021, 012024. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1021/1/012024>
11. Pozdieiev, S., Nuianzin, O., Borsuk, O., Binetska, O., Shvydenko, A., Alimov, B. (2020). Temperature effect on the thermal-physical properties of fire-protective mineral wool cladding of steel structures under the conditions of fire resistance tests. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (106)), 39–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.210710>
12. Ilyin, N., Panfilov, D., Lukin, A. (2017). Constructive fire protection of steel corrugated beams of buildings and other structures. *MATEC Web of Conferences*, 106, 02014. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710602014>
13. Roytman, V. M. (2001). *Inzhenernye resheniya po otsenke ognestoykosti proektiruemykh i rekonstruiruemykh zdaniy*. Moscow: Pozharnaya bezopasnost' i nauka, 382.
14. Perel'muter, A. V., Slivker, V. I. (2002). *Raschetnye modeli sooruzheniy i vozmozhnost' ih anlyza*. Kyiv: Izd-vo «Stal'», 600.
15. Lennon, T., Mur, D. B., Van, Yu. K., Beyli, K. G. (2013). Rukovodstvo dlya proektirovschikov k EN 1991-1-2:2002, EN 1992-1-2:2002, EN 1993-1-2:2002 i EN 1994-1-2:2002: spravochnik po proektirovaniyu protivopozharnoy zaschity stal'nykh, stalezhelezobetonnykh i betonnykh konstruktivnykh zdaniy i sooruzheniy v sootvetstvii s Evrokodami. Moscow, 196.
16. Heinisuo, M., Laasonen, M. (2007). Product modeling, part of the fire safety concept in the future for metal structures? Conference: Advanced Research Workshop on Fire Computer Modeling. Available at: https://www.researchgate.net/publication/256426230_Product_modeling_part_of_the_fire_safety_concept_in_the_future_for_metal_structures
17. Lu, W., Makelainen, P. (2003). *Advanced Steel Structures. Structural Fire Design*. Helsinki University of Technology Laboratory of Steel Structures Publications 29. Espoo.

18. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Samoilo, M., Krai-niukov, O., Biryukov, I. et. al. (2021). Development of the method of operational forecasting of fire in the premises of objects under real conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (110)), 43–50. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.226692>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243114

DEVELOPMENT OF PUMPS WITH IMPROVED ANTI-CAVITATION CHARACTERISTICS (p. 33–40)

Olexandr Tiahno

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1407-7650>

Mykhailo Ovcharenko

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5128-4782>

Anatoly Vorozhka

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0859-1920>

Mikhailo Loburenko

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2487-264X>

Andrey Papchenko

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6608-4356>

When considering the creation of pumps with improved anti-cavitation characteristics, the results of an in-depth analysis of the problem of pumping viscous liquids at high temperatures are presented. On the example of the technological process of evaporation of sugar syrup on a film evaporator of the latest type, the problem of the occurrence of cavitation when pumping viscous liquids at high temperatures was revealed.

After analyzing the existing machines used for the specified operating conditions, critical design and operating parameters were identified that affect the appearance of cavitation. Namely, the appearance of cavitation is influenced by the reduced diameter of the impeller inlet, the diameter of the impeller inlet, the number of blades, the width of the blades and the rotor speed.

To study the level of influence of these parameters, a method of physical modeling was chosen, an experimental stand was designed and manufactured. Studies have been carried out on the operation of the pump with and without a reducer. The work with a two- and three-blade inducer is analyzed, the work with an open and closed impeller, with one and two-level blade system is investigated.

As a result of the analysis of experimental data, the optimal design of the hydraulic part with a three-blade reducer and a semi-open impeller with a two-level blade system was chosen. In turn, this made it possible to reduce the compression of the flow at the inlet to the impeller without loss of energy efficiency; the angles of inclination of the inducer and impeller blades were synchronized.

The experience gained made it possible to design and manufacture an industrial sample of a cantilever pump with an inducer and a semi-open impeller. Thus, allowing to solve the problem of pumping thick syrup on a film evaporating unit of the Teofipol sugar plant (Khmelnitskyi region, Ukraine), with a cavitation reserve of 1.5 m.

Keywords: cantilever pump, centrifugal impeller, reducer, cavitation reserve, film evaporator.

References

1. Yelin, O. V. (2013). Possibility to increase the suction capacity of the inducercentrifugal stage without changing of an inducerand an impeller geometry. *Visnyk SumDU. Seriiia Tekhnichni nauky*, 4, 7–16.
2. Pei, J., Yin, T., Yuan, S., Wang, W., Wang, J. (2017). Cavitation optimization for a centrifugal pump impeller by using orthogonal design of experiment. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 30 (1), 103–109. doi: <http://doi.org/10.3901/cjme.2016.1024.125>
3. Imamura, H., Kurokawa, J., Matsui, J., Kikuchi, M. (2003). Suppression of Cavitating Flow in Inducer by Use of J-groove. The Proceedings of the JSME Annual Meeting, 2003.2, 35–36. doi: http://doi.org/10.1299/jsmemecjo.2003.2.0_35
4. Vizenkov, G., Tverdokhle, I., Kutsenko, V., Ivaniushin, A., Avdeenko, V. (2008). Nasosy spetsialnogo i obschepromyshlennogo naznacheniiia s predvkluchennymi osevymi kolesami. Obzor opyta issledovaniia, razrobotki i ekspluatatsii nasosov s predvkluchennym oseвым kolesom. *Nasosy i oborudovanie*, 3, 46–50.
5. Dular, M. (2016). Hydrodynamic cavitation damage in water at elevated temperatures. *Wear*, 346-347, 78–86. doi: <http://doi.org/10.1016/j.wear.2015.11.007>
6. Gavaises, M., Villa, F., Koukouvinis, P., Marengo, M., Franc, J.-P. (2015). Visualisation and les simulation of cavitation cloud formation and collapse in an axisymmetric geometry. *International Journal of Multiphase Flow*, 68, 14–26. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2014.09.008>
7. Lauterborn, W., Bolle, H. (1975). Experimental investigations of cavitation-bubble collapse in the neighbourhood of a solid boundary. *Journal of Fluid Mechanics*, 72 (2), 391–399. doi: <http://doi.org/10.1017/s0022112075003448>
8. Huang, B., Wang, G. (2011). Experimental and numerical investigation of unsteady cavitating flows through a 2D hydrofoil. *Science China Technological Sciences*, 54 (7), 1801–1812. doi: <http://doi.org/10.1007/s11431-011-4369-1>
9. Friedrichs, J., Kosyna, G. (2002). Rotating Cavitation in a Centrifugal Pump Impeller of Low Specific Speed. *Journal of Fluids Engineering*, 124 (2), 356–362. doi: <http://doi.org/10.1115/1.1457451>
10. Li, D., Song, Y., Lin, S., Wang, H., Qin, Y., Wei, X. (2021). Effect mechanism of cavitation on the hump characteristic of a pump-turbine. *Renewable Energy*, 167, 369–383. doi: <http://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.095>
11. Chen, S.-Y., Xu, W.-L., Luo, J., Li, J.-B., Zhai, Y.-W. (2021). Experimental study on the mesoscale causes of the effect of sediment size and concentration on material cavitation erosion in sandy water. *Wear*. doi: <http://doi.org/10.1016/j.wear.2021.204114>
12. Yuan, Z., Zhang, Y., Zhang, J., Zhu, J. (2021). Experimental studies of unsteady cavitation at the tongue of a pump-turbine in pump mode. *Renewable Energy*, 177, 1265–1281. doi: <http://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.055>
13. Osterman, A., Bachert, B., Sirok, B., Dular, M. (2009). Time dependant measurements of cavitation damage. *Wear*, 266 (9-10), 945–951. doi: <http://doi.org/10.1016/j.wear.2008.12.002>
14. Amromin, E. L. (2021). Modeling of the impact of laminar-turbulent transition on cavitation inception. *Applied*

- Ocean Research, 114, 102796. doi: <http://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102796>
15. Krella, A. K., Krzemianowski, Z., Maurin, A. (2021). Degradation of Armco iron caused by cavitation: Part I – Correlation with flow. *Engineering Failure Analysis*, 128, 105586. doi: <http://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105586>
 16. Krella, A. K., Maurin, A., Krzemianowski, Z. (2021). Degradation of Armco iron caused by cavitation: Part II – Correlation with stress analysis. *Engineering Failure Analysis*, 128, 105621. doi: <http://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105621>
 17. Bhukya, J., Naik, R., Mohapatra, D., Sinha, L. K., Rao, K. V. R. (2021). Orifice based hydrodynamic cavitation of sugarcane juice: Changes in Physico-chemical parameters and Microbiological load. *LWT*, 150, 111909. doi: <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111909>
 18. Wang, Z., Zhang, B. (2021). Cavitation erosion behavior of high-nitrogen austenitic stainless steel: Effect and design of grain-boundary characteristics. *Materials & Design*, 201, 109496. doi: <http://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109496>
 19. Wang, C. Y., Cheng, W., Shao, Y. K., Luo, K. Y., Lu, J. Z. (2021). Cavitation erosion behaviour of AISI 420 stainless steel subjected to laser shock peening as a function of the coverage layer in distilled water and water-particle solutions. *Wear*, 470-471, 203611. doi: <http://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203611>
 20. Mikhailov, A. K., Maliushenko, V. V. (1986). *Lopastnye nasosy. Teoriia, raschet i konstruirovaniye*. Moscow: Mashinostroenie, 270.
 21. Zimnitskii, V. A. (Ed.) (1986). *Lopastnye nasosy*. Moscow: Mashinostroenie, 334.
 22. Melaschenko, V. I., Zuev, A. V., Savelev, A. I. (2004). *Profilirovaniye lopatei robochikh koles tsentrobezhnykh nasosov*. MG TU im. N. E. Bauman, 50.
 23. Franc, J.-P., Michel, J.-M. (2006). *Fundamentals of Cavitation*. Kluwer Academic Publishers Dordrecht. Created in the United States of America, 345.
 24. Rzhebaeva, N. K., Rzhebaev, E. E. (2009). *Raschet i konstruirovaniye tsentrobezhnykh nasosov*. Sumy: SumGU, 219.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242957

DETERMINING THE SPEED AND ACCELERATION OF THE SEPARATOR FOR GRASS LEAF PART IN HORIZONTAL AND VERTICAL DIRECTIONS (p. 41–50)

Tokhtar Abilzhanuly

Scientific Production Center of Agricultural Engineering,
LTD, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9513-1702>

Seitkazy Keshuov

Scientific Production Center of Agricultural Engineering,
LTD, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9565-1396>

Askar Rzaliyev

Scientific Production Center of Agricultural Engineering,
LTD, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9130-221X>

Omirsirik Zhortuylov

Scientific Production Center of Agricultural Engineering,
LTD, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5365-4989>

Gani Zhumatay

PhD, Leading Researcher
Scientific Production Center of Agricultural Engineering,
LTD, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4196-5987>

Daniyar Abilzhanov

Scientific Production Center of Agricultural Engineering,
LTD, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7930-0481>

Darkhan Karmanov

Scientific Production Center of Agricultural Engineering,
LTD, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0924-523> не раб-т

Bauyrzhan Boranbayev

Scientific Production Center of Agricultural Engineering,
LTD, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5784-1308>

Vitamin-grass flour is the main component of mixed feeders intended for all types of livestock and poultry. Earlier and currently, the vitamin-grass flour has been prepared from legumes by a high-temperature drying technique. However, existing techniques have high operating costs and require very expensive technical tools.

To reduce the specific operating costs and the price of equipment in the production of VGF, a technique has been proposed that involves the main drying of grass to a moisture content of 30–35 % on a swath while the post-drying of grass is performed in a small-sized channel under the haystack without air heating. Next, the dried mass is pre-crushed. At the same time, the delicate leaf part of the hay, while falling between the side walls of hammers and counter-hammers, is ground and finely crushed, and the stems are processed into large fractions. From pre-crushed hay, the leaf part is separated and fed into the crusher to produce flour.

In this case, the main machine that determines the performance of the line is the separator of the leaf part of the grass.

The results of the theoretical research have established the speed and acceleration of hay movement on the surface of the sieve. These values determine the productivity of separation of the leaf part from pre-crushed hay and the reliability of the selected structural and technological scheme of the separator. The production tests have confirmed the reliability and economic efficiency of the proposed technique. Comparing the proposed technique for obtaining vitamin-grass flour by existing high-temperature methods has shown that the carotene content in flour was 1.6 times higher while the specific operating costs and equipment price were 6–7 times lower.

Keywords: vitamin-grass flour, high-temperature drying of grass, separator of hay leaves, sieve speed, sieve acceleration.

References

1. Nikitina, T. K. (2000). *Korma i kombikorma*. Sankt-Peterburg: OOO «Respeks», 256.
2. Kirenkov, L. I. (1985). *Spravochnik mehanizatora-zhivotnovoda*. Moscow: Rossel'hozizdat, 367.
3. Sukhanova, E. V. (2020). The use of vitamin-herbal flour from sainfoin sandy to increase the productivity of lactating cows and the safety of calves of the dairy period in the perm region. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 6 (86), 291–294. doi: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-86-6-291-294>

4. Bacanov, I. N., Smirnov, A. I., Salmanis, A. Ya., Kirenkov, L. I., Antrapovskiy, N. M. (1974). *Spravochnik mehanizatora-zhivotnovoda*. Moscow: Rossel'hozizdat, 400.
5. Kulakovskiy, I. V., Kirpichnikov, F. S., Reznik, E. I. (1987). *Mashiny i oborudovanie dlya prigotovleniya kormov*. Ch. 1. Moscow: Rossel'hozizdat, 285.
6. Liniya po proizvodstvu vitaminno-travyanoy muki. Available at: <https://agroru.com/doska/liniya-po-proizvodstvu-vitaminno-travyanoj-muki-756269.htm>
7. Zykov, A. V., Zakharov, A. M., Yunin, V. A. (2019). Infrared method for drying vegetable raw materials. *Journal Of Advanced Research In Technical Science*, 16, 107–110. doi: <https://doi.org/10.26160/2474-5901-2019-16-107-110>
8. Yunin, V. A., Zykov, A. V., Zakharov, A. M., Perekopsky, A. N. (2020). Research of drum installation of drum type with infrared heat source. *International Research Journal*, 6 (96), 64–68. doi: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.96.6.010>
9. Morozkov, N. A., Terentyeva, L. S., Sukhanova, E. V., Voloshin, V. A. (2021). Vitamin-herbal flour from *Rhaponticum carthamoides* in the diets of dairy cows. *Agricultural Science Euro-North-East*, 22 (4), 570–580. doi: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.570-580>
10. Tabakov, N. A. (2018). Vitaminno-travyanaya muka v proizvodstve kombikormov Kraya. *Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii «Nauchnoe obespechenie zhivotnovodstva Sibiri»*. Krasnoyarsk, 35–39. Available at: http://niizh.krasn.ru/wp-content/uploads/2018/05/conf17-18_05_2018.pdf
11. Leuta, I. A. (2016). Obosnovanie effektivnosti organizacii proizvodstva granul iz vitaminno-travyanoy muki. *Sb. tr. Mezhd. (zaochnoy) nauchno-prakt. konf. «Ekonomika i upravlenie v sovremennykh usloviyah»*. Krasnoyarsk, 145–150.
12. Leuta, I. A. (2015). Proizvodstvo vitaminno-travyanoy muki – vostrebovaniy vysokodohodniy biznes. *Sb. tr. Mezhd. (zaochnoy) nauchno-prakt. konf. «Ekonomika i upravlenie v sovremennykh usloviyah»*. Krasnoyarsk, 130–132.
13. Nurlybaev, K. K., Soldatov, V. T., Zhortuylov, O., Əbilzhanuly, T., Uteshev, V. L., Abilzhanov, D. T., Al'shurina, A. S. (2013). Pat. No. 30197 KZ. Sposob prigotovleniya vitaminno-travyanoy muki. No. 2013/0545.1; declared: 23.04.2013; published: 17.08.2015, Bul. No. 8. Available at: <https://kzpatents.com/5-ip30197-sposob-prigotovleniya-vitaminno-travyanojj-muki.html>
14. Abilzhanov, D. T., Abilzhanuly, T. (2014). Theoretical substantiation of kinematic mode of separator for small leaf part of grass plant. *Tractors and agricultural machinery*, 7, 32–35. Available at: <https://journals.eco-vector.com/0321-4443/article/view/65589>
15. Abilzhanuly, T., Abilzhanov, D. T. (2020). Determination of the rotation speed of chopped hay on the surface of the separator sieve of the leaf part of herbs. *Tractors and agricultural machinery*, 4, 53–57. doi: <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2020-4-53-57>
16. Abilzhanov, D. T., Abilzhanuly, T., Uteshev, V. L. (2014). Substantiation of parameters of separator for small leaf part of grass plant. *Tractors and Agricultural Machinery*, 8, 16–19. Available at: <https://journals.eco-vector.com/0321-4443/article/view/65529>
17. Abilzhanuly, T., Abilzhanov, D. T., Uteshev, V. L., Aburaliev, S. K., Shamsidin, Ə. S. (2017). Pat. No. 34143 KZ. Separator dlya listovoy chasti trav iz predvaritel'no izmel'chennogo sena. declared: 26.09.2017; published: 29.01.2020.
18. Abilzhanuly, T., Abilzhanov, D. T., Golikov, V. A., Kalmarambetov, M. B., Naydenko, E. V. (2019). Substantiation parameters of feeder-dispenser a stem's fodder. *Mezhdunarodnaya agroinzheneriya*, 3, 35–42. Available at: [http://spcae.kz/uploads/jornal/%D0%9C%D0%90-3-2019%20\(%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BB\).pdf](http://spcae.kz/uploads/jornal/%D0%9C%D0%90-3-2019%20(%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BB).pdf)
19. Komaristov, V. E., Dunay, N. F. (1971). *Sel'skohozyaystvennye mashiny*. Moscow: Kolos, 512.
20. Bat', M. I., Dzhanamdze, G. Yu., Kel'zon, A. S. (1975). *Teoreticheskaya mehanika v primerah i zadachah (statistika i kinematika)*. Moscow: Nauka, 512.
21. Bermant, A. F., Aramanovich, I. G. (2005). *Kratkiy kurs matematicheskogo analiza*. Sankt-Peterburg: Izd-vo «Lan'», 736.
22. Abilzhanuly, T., Abilzhanov, D. T., Golikov, V. A., Smagulov, T. A., Naydenko, E. V., Kalmarambetov, M. B. et. al. (2020). *Tehnologiya i liniya prigotovleniya vitaminno-travyanoy muki iz listovoy chasti trav LVM-0,4: rekomendacii*. Almaty: Print-Master, 30.
23. Kireev, V. N., Scheglov, V. V., Iglovikov, V. G., Konyushkov, N. S., Movsisyanc, A. P. (1977). *Korma*. Moscow: Kolos, 368.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.240194

ESTABLISHING THE CONDITIONS FOR THE FORMATION OF A NEAR-WALL LAYER OF SOLID GRANULAR FILL OF A ROTATING DRUM (p. 51–61)

Yuriy Naumenko

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3658-3087>

Kateryna Deineka

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7376-6734>

Tamara Myronenko

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3613-9296>

This paper reports the assessment of the influence of dynamic motion parameters on the formation and disappearance at the cylindrical surface of the chamber of the rotating drum of the near-wall layer of non-loose granular fill.

Based on the results of experimental visualization of the flow, the effect of solidity on the behavior of granular fill was revealed. The hydrodynamic effect of fill quasi-liquefaction under the action of solidity has been established, which involves the occurrence of a connecting interaction between adjacent layers and the surface of the chamber. Conversion of shear circulation flow to homogeneous dense clustered stream with slipping and rolling without relative movement of particles was detected.

The hydrodynamic characteristics of circulation flow transition to the near-wall layer mode during rotation acceleration have been defined. Such a transition is implemented by smoothly increasing the thickness of the layer when the rest of the fill is circulated at the bottom of the chamber.

The effect of the rheological hysteresis of the movement of the rotating chamber fill, caused by quasi-liquefaction of non-loose granular environment, has been established. The effect implies exceeding the speed limit ω_f in the formation of a near-wall layer, at rotation acceleration, above the boun-

dary ω_{dl} of the layer disappearance when the rotation slows down. The manifestation of hysteresis mainly increases with an increase in Reynolds number. The intensity of increased hysteresis manifestation increases with a decrease in the degree of filling the chamber. The value of the Froude number for the ω_{fl} and ω_{dl} boundaries increases with the increase in Re. It has been established that at the relative particle size of the dispersed fill $\psi_{dc} \approx (0.065-1.04) \cdot 10^{-3}$ and $Re=30-500$, $Fr=1-2.9$, for the ω_{fl} boundary, and $Fr=0.5-1.4$, for the ω_{dl} boundary. The Fr value for the ω_{fl} limit was found to exceed this value for the ω_{dl} boundary by 1.6–2.1 times.

The established effects make it possible to substantiate the rational parameters for the grinding process in drum-roll mills.

Keywords: drum-roll mill, non-loose granular fill, formation of a wall layer, rheological hysteresis.

References

- Chen, Y. Q., Li, X. X., Sun, G. Y. (2015). Reviewing on the working mechanism of horizontal roller mill based on the rule of layer material crushing. *2015 4th International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT)*, 1534–1536. doi: <https://doi.org/10.1109/iccsnt.2015.7491021>
- Brewster, R., Grest, G. S., Levine, A. J. (2009). Effects of cohesion on the surface angle and velocity profiles of granular material in a rotating drum. *Physical Review E*, 79 (1). doi: <https://doi.org/10.1103/physreve.79.011305>
- Liu, P. Y., Yang, R. Y., Yu, A. B. (2011). Dynamics of wet particles in rotating drums: Effect of liquid surface tension. *Physics of Fluids*, 23 (1), 013304. doi: <https://doi.org/10.1063/1.3543916>
- Kasper, J. H., Magnanimo, V., Jarray, A. (2019). Dynamics of discrete wet granular avalanches in a rotary drum. *Proceedings of the 8th International Conference on Discrete Element Methods (DEM8)*. Available at: <https://mercurylab.co.uk/dem8/wp-content/uploads/sites/4/2019/07/99.pdf>
- Kasper, J. H., Magnanimo, V., de Jong, S. D. M., Beek, A., Jarray, A. (2021). Effect of viscosity on the avalanche dynamics and flow transition of wet granular matter. *Particuology*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.partic.2020.12.001>
- Hagen, T., Luding, S., van der Meer, D., Magnanimo, V., Jarray, A. (2021). Liquid migration in flowing granular materials. *EPJ Web of Conferences*, 249, 09001. doi: <https://doi.org/10.1051/epjconf/202124909001>
- Xu, Q., Orpe, A. V., Kudrolli, A. (2007). Lubrication effects on the flow of wet granular materials. *Physical Review E*, 76 (3). doi: <https://doi.org/10.1103/physreve.76.031302>
- Wojtkowski, M., Imole, O. I., Ramaioli, M., Chávez Montes, E., Luding, S. (2013). Behavior of cohesive powder in rotating drums. *AIP Conference Proceedings*, 1542, 983. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4812098>
- Jarray, A., Magnanimo, V., Ramaioli, M., Luding, S. (2017). Scaling of wet granular flows in a rotating drum. *EPJ Web of Conferences*, 140, 03078. doi: <https://doi.org/10.1051/epjconf/201714003078>
- Jarray, A., Magnanimo, V., Luding, S. (2019). Wet granular flow control through liquid induced cohesion. *Powder Technology*, 341, 126–139. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.02.045>
- Mellmann, J. (2001). The transverse motion of solids in rotating cylinders – forms of motion and transition behavior. *Powder Technology*, 118 (3), 251–270. doi: [https://doi.org/10.1016/s0032-5910\(00\)00402-2](https://doi.org/10.1016/s0032-5910(00)00402-2)
- Watanabe, H. (1999). Critical rotation speed for ball-milling. *Powder Technology*, 104 (1), 95–99. doi: [https://doi.org/10.1016/s0032-5910\(99\)00031-5](https://doi.org/10.1016/s0032-5910(99)00031-5)
- Juarez, G., Chen, P., Lueptow, R. M. (2011). Transition to centrifuging granular flow in rotating tumblers: a modified Froude number. *New Journal of Physics*, 13 (5), 053055. doi: <https://doi.org/10.1088/1367-2630/13/5/053055>
- Benedito, W. M., Duarte, C. R., Barrozo, M. A. S., Santos, D. A. (2021). Cataracting-centrifuging transition investigation using nonspherical and spherical particles in a rotary drum through CFD simulations. *Particuology*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.partic.2021.03.012>
- Naumenko, Y. (2017). Modeling a flow pattern of the granular fill in the cross section of a rotating chamber. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (89)), 59–69. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110444>
- Naumenko, Y. (2017). Modeling of fracture surface of the quasi solid-body zone of motion of the granular fill in a rotating chamber. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (86)), 50–57. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96447>
- Naumenko, Y., Sivko, V. (2017). The rotating chamber granular fill shear layer flow simulation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (88)), 57–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.107242>
- Naumenko, Y. V. (2000). Stability of the tubular layer of a deformed material in a rotating horizontal cylinder. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 41 (1), 108–114. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02465244>
- Naumenko, Y. V. (1993). Velocity regimes of motion of a viscous liquid in a horizontal rotating cylinder. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 64 (5), 453–459. doi: <https://doi.org/10.1007/bf00862634>
- Naumenko, Y. V. (1996). Stability of a Tube of a Viscous Fluid in a Horizontal Rotating Cylinder. *International Journal of Fluid Mechanics Research*, 23 (3-4), 271–277. doi: <https://doi.org/10.1615/interjfluidmechres.v23i3-4.100>
- White, R. E. (1956). Residual condensate, condensate behaviour, and siphoning in paper driers. *Technical Association of the Pulp and Paper Industry*, 39, 228.
- White, R. E., Higgins, T. W. (1958). Effect of fluid properties on condensate behaviour. *Technical Association of the Pulp and Paper Industry*, 41 (2), 71–76.
- Preziosi, L., Joseph, D. D. (1988). The run-off condition for coating and rimming flows. *Journal of Fluid Mechanics*, 187, 99–113. doi: <https://doi.org/10.1017/s0022112088000357>
- Johnson, R. E. (1988). Steady-state coating flows inside a rotating horizontal cylinder. *Journal of Fluid Mechanics*, 190, 321–342. doi: <https://doi.org/10.1017/s0022112088001338>
- Chew, J. W. (1996). Analysis of the oil film on the inside surface of an aero-engine bearing chamber housing. *ASME 1996 International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exhibition*, 96-GT-300, V001T01A082. doi: <https://doi.org/10.1115/96-gt-300>
- Thoroddsen, S. T., Mahadevan, L. (1997). Experimental study of coating flows in a partially-filled horizontally Rotating cylinder. *Experiments in Fluids*, 23 (1), 1–13. doi: <https://doi.org/10.1007/s003480050080>
- Ivanova, A. A., Kozlov, V. G., Chigrakov, A. V. (2004). Dynamics of a Fluid in a Rotating Horizontal Cylinder. *Fluid Dynamics*, 39 (4), 594–604. doi: <https://doi.org/10.1023/b:flui.0000045675.82694.6c>
- Naumenko, Y. V. (2004). The Regime Hysteresis of Viscous Flow with Free Surface in Rotating Horizontal Cylinder.

- International Journal of Fluid Mechanics Research, 31 (4), 358–368. doi: <https://doi.org/10.1615/interjfluidmechres.v31i4.50>
29. Phillips, O. M. (1960). Centrifugal waves. *Journal of Fluid Mechanics*, 7 (3), 340–352. doi: <https://doi.org/10.1017/s0022112060000128>
 30. Naumenko, Yu. V. (2001). Numerical calculation of the flow regimes of a fluid partially filling a horizontal rotating heat-exchange cylinder. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 74, 736–744. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1016728915801>
 31. Deiber, J. A., Cerro, R. L. (1976). Viscous Flow with a Free Surface Inside a Horizontal Rotating Drum. I. Hydrodynamics. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 15 (2), 102–110. doi: <https://doi.org/10.1021/i160058a004>
 32. Seiden, G., Thomas, P. J. (2011). Complexity, segregation, and pattern formation in rotating-drum flows. *Reviews of Modern Physics*, 83 (4), 1323–1365. doi: <https://doi.org/10.1103/revmodphys.83.1323>
 33. Breu, A. P. J., Kruelle, C. A., Rehberg, I. (2003). Pattern formation in a rotating aqueous suspension. *Europhysics Letters (EPL)*, 62 (4), 491–497. doi: <https://doi.org/10.1209/epl/i2003-00379-x>
 34. Govender, I. (2016). Granular flows in rotating drums: A rheological perspective. *Minerals Engineering*, 92, 168–175. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.03.021>
 35. On dense granular flows (2004). *The European Physical Journal E*, 14 (4), 341–365. doi: <https://doi.org/10.1140/epje/i2003-10153-0>
 36. Forterre, Y., Pouliquen, O. (2008). Flows of Dense Granular Media. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 40 (1), 1–24. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.40.111406.102142>
 37. Aranson, I. S., Tsimring, L. S. (2002). Continuum theory of partially fluidized granular flows. *Physical Review E*, 65 (6). doi: <https://doi.org/10.1103/physreve.65.061303>
 38. Ouyang, H. W., Huang, L. H., Cheng, L., Huang, S. C., Wang, Q., Liu, Z. M., Zhang, X. (2013). Behavior of hysteretic transition of granular flow regimes in a slow rotating drum. *Materials Science and Engineering of Powder Metallurgy*, 18 (2), 155–162.
 39. Balmforth, N. J., McElwaine, J. N. (2018). From episodic avalanching to continuous flow in a granular drum. *Granular Matter*, 20 (3). doi: <https://doi.org/10.1007/s10035-018-0822-1>
 40. Perrin, H., Clavaud, C., Wyart, M., Metzger, B., Forterre, Y. (2019). Interparticle Friction Leads to Nonmonotonic Flow Curves and Hysteresis in Viscous Suspensions. *Physical Review X*, 9 (3). doi: <https://doi.org/10.1103/physrevx.9.031027>
 41. Santos, D. A., Scatena, R., Duarte, C. R., Barrozo, M. A. S. (2016). Transition phenomenon investigation between different flow regimes in a rotary drum. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 33 (3), 491–501. doi: <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20160333s20150128>
 42. Chou, S. H., Hsiau, S. S. (2011). Experimental analysis of the dynamic properties of wet granular matter in a rotating drum. *Powder Technology*, 214 (3), 491–499. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2011.09.010>
 43. Tegzes, P., Vicsek, T., Schiffer, P. (2002). Avalanche Dynamics in Wet Granular Materials. *Physical Review Letters*, 89 (9). doi: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.89.094301>
 44. Tegzes, P., Vicsek, T., Schiffer, P. (2003). Development of correlations in the dynamics of wet granular avalanches.

Physical Review E, 67 (5). doi: <https://doi.org/10.1103/physreve.67.051303>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243391

DEVELOPMENT OF MECHANICAL AND FATIGUE PROPERTIES OF AA7001 AFTER COMBINED SP WITH DEEP CRYOGENIC TREATMENT AND UIP WITH DEEP CRYOGENIC TREATMENT (p. 62–69)

Aseel A. Alhamdany

University of Technology, Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9925-219X>

Ali Yousuf Khenyab

Al-Salam University, Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9470-417X>

Qusay K. Mohammed

University of Technology, Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2591-2220>

Hussain Jasim M. Alalkawi

Bilad Alrafidain University College, Diyala, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2497-3400>

Al alloys have long been of interest to the aerospace community, due to their modest specific strength, ease of manufacture, and low cost. In recent years, with the rapid development of weaponry, 7XXX ultra-high strength aluminum alloys used increasingly in military fields. Chemical analysis of the AA7001 is supported out at The Company State for Engineering, Rehabilitation and Inspection (SIER) in Iraq. Strengthening the surface (shot peening) is beneficial to delay crack nucleation and extend life. The test samples (tensile and fatigue) are subject to the SP process by using ball steel with the parameters (Pressure = 12 bars, Speed = 40 mm/min, Distance = 150 mm, Shot size = 2.25 mm, Coverage = 100 %). The ultrasonic impact treatment (UIP) machine is used for enhancing the surface properties. For the Deep Cryogenic Treatment (DCT), the samples have been placed in the cooling chamber. A standard tensile test specimen is prepared in a round section with the dimensions chosen according to ASTM (A370-11). Tensile and fatigue of rotating bending with $R = -1$ have been conducting, after the effect of deep cryogenic treatment (DCT), combined shot peening (SP+DCT), and ultrasonic impact peening (UIP+DCT) of AA7001 have been examining. The maximum improvement percent in ultimate tensile strength (UTS) due to (DCT), (SP+DCT), and (UIP+DCT) were about 3 %, 8.27 %, and 6.25 %, respectively. The rise in the yield stress due to (DCT), (SP+DCT), and (UIP+DCT) were 9.5 %, 14.6 %, and 13.14 %, respectively. The ductility reduced by constituents of 8.57 %, 12.5 %, and 11.42 % sequentially. The improvement in fatigue strength in a high cycle regime is 16 % for (SP+DCT) due to combined effects, it is an 8 % increase in the endurance limit on fatigue behavior due to inducing compressive residual stress (CRS).

Keywords: AA7001, deep cryogenic treatment, ultrasonic impact, shot peening, tensile and fatigue properties.

References

1. Chen, P., Malone, T., Bond, R., Torres, P. (2000). Effects of cryogenic treatment on the residual stress and mechanical properties of an aerospace aluminum alloy. Available at:

- <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20010067299/downloads/20010067299.pdf>
2. Gao, W., Wang, X., Chen, J., Ban, C., Cui, J., Lu, Z. (2019). Influence of Deep Cryogenic Treatment on Microstructure and Properties of 7A99 Ultra-High Strength Aluminum Alloy. *Metals*, 9 (6), 631. doi: <https://doi.org/10.3390/met9060631>
 3. Santecchia, E., Hamouda, A. M. S., Musharavati, F., Zalnezhad, E., Cabibbo, M., El Mehtedi, M., Spigarelli, S. (2016). A Review on Fatigue Life Prediction Methods for Metals. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016, 1–26. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/9573524>
 4. Liu, Y., Lv, S.-L., Zhang, W. (2018). Shot Peening Numerical Simulation of Aircraft Aluminum Alloy Structure. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 322, 032003. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/322/3/032003>
 5. Malaki, M., Ding, H. (2015). A review of ultrasonic peening treatment. *Materials & Design*, 87, 1072–1086. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.08.102>
 6. Zhirafar, S. (2005) Effect of cryogenic treatment on the mechanical properties of steel and aluminum alloys. Concordia University. Available at: <https://spectrum.library.concordia.ca/8600/>
 7. Lulay, K. E., Khan, K., Chaaya, D. (2002). The Effect of Cryogenic Treatments on 7075 Aluminum Alloy. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 11 (5), 479–480. doi: <https://doi.org/10.1361/105994902770343683>
 8. Hetram, L. S., Om, H., Hetram, L. S., Om, H. (2015). Shot Peening Effects on Material Properties: A Review. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 1 (12), 480–484. Available at: <http://www.ijirst.org/articles/IJIRSTV1I12137.pdf>
 9. Luong, H., Hill, M. R. (2010). The effects of laser peening and shot peening on high cycle fatigue in 7050-T7451 aluminum alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 527 (3), 699–707. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2009.08.045>
 10. Pavan, K. M., Sachin, L. S., Mayur, S., Chandrashekar, A., Ajaykumar, B. S. (2014). Effect Of Cryogenic Treatment On The Mechanical And Microstructural Properties Of Aluminium Alloys – A Brief Study. *International Journal of Mechanical And Production Engineering*, 2 (5), 95–99. Available at: http://www.iraj.in/journal/journal_file/journal_pdf/2-56-140048875695-99.pdf
 11. Sejzu, M., Govindaraj, R., Prabhakaran, R. (2016). Influence on mechanical properties by cryogenic treatment on aluminium alloy 7075. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7 (4), 225–233. Available at: <https://www.ijser.org/researchpaper/INFLUENCE-ON-MECHANICAL-PROPERTIES-BY-CRYOGENIC-TREATMENT-ON-ALUMINIUM-ALLOY-7075.pdf>
 12. Khedekar, D., Gogte, C. L. (2018). Development of the cryogenic processing cycle for age hardenable AA7075 aluminium alloy and optimization of the process for surface quality using gray relational analysis. *Materials Today: Proceedings*, 5 (2), 4995–5003. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.077>
 13. Li, C., Cheng, N., Chen, Z., Guo, N., Zeng, S. (2015). Deep-cryogenic-treatment-induced phase transformation in the Al-Zn-Mg-Cu alloy. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, 22 (1), 68–77. doi: <https://doi.org/10.1007/s12613-015-1045-7>
 14. Desai, R. S., Joshi, A. G., Sunil Kumar, B. V. (2016). Study on influence of cryogenic treatment on mechanical properties of als10mg alloy. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 05 (33), 53–56. doi: <https://doi.org/10.15623/ijret.2016.0533011>
 15. Padmini, B. V., Sampathkumaran, P., Seetharamu, S., Naveen, G. J., Niranjan, H. B. (2019). Investigation on the wear behaviour of Aluminium alloys at cryogenic temperature and subjected to cryo -treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 502, 012191. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/502/1/012191>
 16. Cayless, R. B. C. (1990). Alloy and Temper Designation Systems for Aluminum and Aluminum Alloys. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, 15–28. doi: <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v02.a0001058>
 17. ASTM E466-07: Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials. ASTM International.
 18. Wrought aluminum-zinc-magnesium alloy 7001. Substech. Available at: https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=wrought_aluminum-zinc-magnesium_alloy_7001
 19. Sonar, T., Lomte, S., Gogte, C. (2018). Cryogenic Treatment of Metal – A Review. *Materials Today: Proceedings*, 5 (11), 25219–25228. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.324>
 20. Sachin, S. S. (2016). Cryogenic Hardening and Its Effects on Properties of an Aerospace Aluminium Alloy. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 8 (1), 566–571. doi: <https://doi.org/10.21172/1.81.074>
 21. Wang, S., Li, Y., Yao, M., Wang, R. (1998). Compressive residual stress introduced by shot peening. *Journal of Materials Processing Technology*, 73 (1-3), 64–73. doi: [https://doi.org/10.1016/s0924-0136\(97\)00213-6](https://doi.org/10.1016/s0924-0136(97)00213-6)
 22. Bensely, A., Venkatesh, S., Mohan Lal, D., Nagarajan, G., Rajadurai, A., Junik, K. (2008). Effect of cryogenic treatment on distribution of residual stress in case carburized En 353 steel. *Materials Science and Engineering: A*, 479 (1-2), 229–235. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2007.07.035>
 23. Basquin, H. O. (1910). The Exponential Law of Endurance Tests. *American Society for Testing and Materials Proceedings*, 10, 625–630.
 24. Kumar, D., Idapalapati, S., Wang, W., Narasimalu, S. (2019). Effect of Surface Mechanical Treatments on the Microstructure-Property-Performance of Engineering Alloys. *Materials*, 12 (16), 2503. doi: <https://doi.org/10.3390/ma12162503>
 25. Hall, E. O. (1951). The Deformation and Ageing of Mild Steel: III Discussion of Results. *Proceedings of the Physical Society. Section B*, 64 (9), 747–753. doi: <https://doi.org/10.1088/0370-1301/64/9/303>
 26. Hansen, N. (2004). Hall-Petch relation and boundary strengthening. *Scripta Materialia*, 51 (8), 801–806. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2004.06.002>
 27. Tange, A., Akutu, T., Takamura, N. (1991). Relation between shot-peening residual stress distributeon and fatigue crack propagation life in spring steel. *Transactions of Japan Society of Spring Engineers*, 1991 (36), 47–53. doi: <https://doi.org/10.5346/trbane.1991.47>
 28. Guagliano, M., Vergani, L. (2004). An approach for prediction of fatigue strength of shot peened components. *Engineering Fracture Mechanics*, 71 (4-6), 501–512. doi: [https://doi.org/10.1016/s0013-7944\(03\)00017-1](https://doi.org/10.1016/s0013-7944(03)00017-1)
 29. Azhari, A., Schindler, C., Godard, C., Gibmeier, J., Kersch, E. (2016). Effect of multiple passes treatment in waterjet peening on fatigue performance. *Applied Surface Science*, 388, 468–474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.11.195>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243245
DETERMINATION OF THE EFFECT OF THICKNESS REDUCTION RATIO, DIE ANGLE, AND COEFFICIENT OF FRICTION ON RESIDUAL STRESSES IN IRONING PROCESS: AN ANALYSIS USING COMPUTER SIMULATION (p. 70–78)

Akhmad Faizin

Sepuluh Nopember Institute of Technology,
 Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2700-8622>

I Made Londen Batan

Sepuluh Nopember Institute of Technology,
 Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1156-2282>

Agus Sigit Pramono

Sepuluh Nopember Institute of Technology,
 Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5692-5350>

Arif Wahjudi

Sepuluh Nopember Institute of Technology,
 Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1017-5835>

Ironing is a part of the group of metal forming processes, the process of reducing the thickness of the wall of a cup-shaped product. External load required to process metal forming, can cause residual stress. Residual stress can be beneficial or detrimental depending on the function of the product, the magnitude, and direction of the residual stress. Residual stress can act as an additional load on a given load. Residual stress can affect product quality, namely: dimensional accuracy, surface roughness, and mechanical properties. The speed of the ironing process is strongly influenced by the mechanical properties of the cup material, Thickness Reduction Ratio (TRR), and press tool design. The ironing process has a limited TRR value and if it is exceeded it results in product damage. Various studies on ironing were carried out to obtain an optimal process. In this research, stress analysis was carried out using the ANSYS software modeling simulation to obtain the occurring residual stress during the ironing process. The analysis was carried out by varying the TRR from 20 % to 30 %, the die angle from 25° to 30°, and the coefficient of friction from 0.05 to 0.15. Furthermore, processing and analysis of the stress analysis data are carried out to obtain the most dominant variables affecting the residual stress and the variable value that produces the lowest residual stress. Stress analysis was carried out on AA1100 aluminum cups with an outer diameter of 37 mm, a height of 20 mm, and a wall thickness of 2 mm. The results show that TRR and coefficient of friction are the most dominant

variables affecting residual stress, while die angle has no significant effect. The lowest residual stress occurs at TRR 30 % and coefficient of friction 0.15.

Keywords: thickness reduction ratio, die angle, coefficient of friction, residual stress.

References

1. Moshksar, M. M., Kalvarzi, A. H. (2001). Ironing of Aluminum Cups. *Materials and Manufacturing Processes*, 16 (4), 461–470. doi: <https://doi.org/10.1081/amp-100108520>
2. Khodsetan, M., Faraji, G., Abrinia, K., Shahbazi Karami, J. (2016). A Numerical and Experimental Study of Constrained Ironing Process as a Novel High Thickness Reduction Ironing Method. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 69 (10), 1843–1849. doi: <https://doi.org/10.1007/s12666-016-0843-6>
3. Ragab, M. S., Orban, H. Z. (2000). Effect of ironing on the residual stresses in deep drawn cups. *Journal of Materials Processing Technology*, 99 (1-3), 54–61. doi: [https://doi.org/10.1016/s0924-0136\(99\)00360-x](https://doi.org/10.1016/s0924-0136(99)00360-x)
4. Khodsetan, M., Faraji, G., Abrinia, K. (2015). A Novel Ironing Process with Extra High Thickness Reduction: Constrained Ironing. *Materials and Manufacturing Processes*, 30 (11), 1324–1328. doi: <https://doi.org/10.1080/10426914.2015.1037898>
5. Tschaetsch, H. (2006). *Metal Forming Practise. Processes – Machines – Tools*. Springer, 406. doi: <https://doi.org/10.1007/3-540-33217-0>
6. Shirazi, A., Abrinia, K., Faraji, G. (2014). Hydroironing: A Novel Ironing Method with a Higher Thickness Reduction. *Materials and Manufacturing Processes*, 30 (1), 99–103. doi: <https://doi.org/10.1080/10426914.2014.962659>
7. Shi, M. F., Gerdeen, J. C. (1989). A Theoretical study of the ironing process in sheet metal forming. *Journal of Materials Shaping Technology*, 7 (4), 203–211. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02834772>
8. Kardan, M., Parvizi, A., Askari, A. (2018). Influence of process parameters on residual stresses in deep-drawing process with FEM and experimental evaluations. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40 (3). doi: <https://doi.org/10.1007/s40430-018-1085-9>
9. Tanaka, A., Wang, Z. G., Hibi, N. (2013). Development of Cup Inner Surface Smoothing Process by Ironing. *Key Engineering Materials*, 535-536, 263–266. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.535-536.263>
10. Faizin, A., Wahjudi, A., Batan, I. M. L., Pramono, A. S. (2018). Ironing Force Modeling Analysis on Aluminum Cup Using CATIA V5. *AIP Conference Proceedings* 1983, 040013. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5046270>
11. Sahu, S., Pada Mondal, D., Dass Goel, M., Zahid Ansari, M. (2018). Finite element analysis of AA1100 elasto-plastic behaviour using Johnson-Cook model. *Materials Today: Proceedings*, 5 (2), 5349–5353. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.120>

АНОТАЦІЇ

ENGINEERING TECHNOLOGICAL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242707**ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ ФОРСУНКИ ХОЛОДНОГО НАПИЛЮВАННЯ (с. 6–14)****Wenjie Hu, Kun Tan, С. Є. Маркович, Tingting Cao**

Технологія холодного напилювання – це метод отримання покриття шляхом високошвидкісного зіткнення частинок з підкладкою в надзвуковому (300–1200 м/с) рушійному газі. Процес осадження являє собою в основному механічне поєднання, яке приваблює все більше уваги в інженерних додатках. Найважливішим компонентом системи холодного напилювання є сопло. Продуктивність форсунки безпосередньо впливає на якість покриття поверхні матеріалу. Тому обговорення насадки має велике значення. В даний час в техніці існує безліч прикладів одноканальних форсунок для холодного напилення, але мало повідомлень про багатоканальних форсунках для холодного розпилення. В даній статті досліджується багатоканальна форсунка для холодного напилення, проектується спеціальна трьохканальна форсунка з внутрішніми каналами і використовується кут 90° у частині форсунки, що розширюється. При напилюванні на невеликій площі кутова форсунка має очевидні переваги для напилювання більшої площі. Аналізуються тиск упорскування порошку, розмір часток, коефіцієнт вилучення і положення внутрішнього каналу, які впливають на траєкторію руху частинок. У поєднанні з цими факторами багатоканальне сопло оптимізовано та вдосконалено для вирішення проблеми зіткнення частинок з внутрішньою стінкою сопла. Нарешті, за допомогою багатоканального сопла попередньо досліджуються технологічні параметри порошків алюмінію, титану, міді, нікелю, магнію і цинку. Результати показують, що багатоканальне сопло відповідає вимогам до критичної швидкості напилювання порошку міді, магнію і цинку при гомогенному (порошок і матриця з одного матеріалу) і напилювання алюмінієвого порошку в разі неоднорідного (порошок і матриця різні). матеріали), багатоканальна форсунка має перспективу надійного інженерного застосування і служить конкретним довідковим матеріалом для відповідних технічних фахівців.

Ключові слова: технологія холодного напилювання, багатоканальне сопло, траєкторія частинок, зіткнення частинок, критична швидкість.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.240108**РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ ІНТЕГРОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ І МОДЕЛЮВАННЯ ЛІТАКІВ (с. 15–23)****О. Г. Гребеніков, А. М. Гуменний, О. З. Двейрін, О. О. Соболев, Л. Ю. Буйвал**

Проведений аналіз методів проектування літаків показав, що для створення конкурентоспроможних літаків необхідно розробити науково обґрунтовану концепцію інтегрованого проектування літаків за допомогою комп'ютерних систем CAD/CAM/CAE/PLM.

Розроблено узагальнену концепцію інтегрованого проектування і тривимірного комп'ютерного моделювання літаків за допомогою систем CAD/CAM/CAE/PLM. На основі запропонованої концепції були розроблені принципи інтегрованого проектування літаків. Описано особливості проектування навчально-тренувальних і навчально-бойових літаків, літаків транспортної категорії, легких цивільних літаків.

Вдосконалено метод визначення злітної ваги, проектних параметрів та формування загального вигляду літаків. Метод призначений для формування вигляду літака на етапах попереднього проектування, мета якого зводиться до визначення допустимого варіанта проекту літака. Проект повинен задовольняти заданим вимогам і обмеженням при вибраній схемі літака і заданому наборі параметрів, що характеризують його планер і силову установку.

Вдосконалено метод параметричного моделювання літаків, який містить етапи створення майстер-геометрії літака і моделі розподілу простору. Створено параметричні моделі майстер-геометрії і моделі розподілу простору, навчально-тренувальних і навчально-бойових літаків, літаків транспортної категорії, легких цивільних літаків.

Розроблено та теоретично обґрунтовано методи інтегрованого проектування основних агрегатів літаків. Створені параметричні моделі майстер-геометрії крила навчально-тренувального літака, крила, оперення та фюзеляжу легкого цивільного літака з урахуванням особливості конструкції агрегатів літаків різних категорій.

Ключові слова: інтегроване проектування літаків, майстер-геометрія, концепція, тривимірне параметричне моделювання, злітна маса.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.241268**ТЕПЛОВИЙ ВПЛИВ ПОЖЕЖІ НА СТАЛЕВУ БАЛКУ З ГОФРОВАНОЮ СТІНКОЮ ІЗ ВОГНЕЗАХИСНИМ МІНЕРАЛОВАТНИМ ОБЛИЦЮВАННЯМ (с. 24–32)****В. С. Некора, С. О. Сідней, Т. М. Шналь, О. В. Некора, Л. І. Лаврінченко, С. В. Поздєєв**

У представленій роботі проведено дослідження можливості застосування спрощеного підходу, рекомендованого стандартами для звичайних сталевих балок, для визначення температури нагрівання в умовах пожежі у прикладенні до сталевих балок двотаврового перерізу із гофрованою стінкою. Проведення таких досліджень зумовлене обмеженістю методів, що дозволяють визначати температуру нагріву даного типу балок в умовах пожежі з використанням інженерних методів із невеликим обсягом розрахунків.

Для розрахунку розглянуто технічні дані сталевих балок з облицюванням, проаналізовано особливості теплового впливу пожежі на них, розроблено методіку розрахунку, побудовані розрахункові схеми, проведені обчислення. Отримано дані про розподіл температури у перерізах балок з облицюванням та без нього за допомогою спрощеного методу, рекомендованого стандартами, і уточненого методу на основі методу скінчених елементів.

Для розрахунків створені математичні моделі, що описують вплив стандартного температурного режиму пожежі на розподіл температури у кожному хвилину у перерізах сталевих балок з облицюванням і без нього. Моделі описані на основі диференціального рівняння теплопровідності, граничних умов третього роду, що враховують конвективний і променистий теплообмін.

Встановлено, що мінераловатне облицювання балки з гофрованою стінкою є надійним вогнезахисним засобом. Температура нагріву балки не досягає критичного значення 500 °С за 60 хв, що забезпечує клас даної балки для самих жорстких вимог щодо її вогнестійкості відповідно до класифікації за чинними нормами в Україні.

Спрощений метод, рекомендований чинними стандартами Євросоюзу та України, може ефективно використовуватись для аналізу вогнестійкості даних балок і є основою методики проведення розрахункової оцінки вогнестійкості даних конструкцій.

Ключові слова: сталева балка з гофрованою стінкою, стандартний температурний режим, температурний розподілення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243114

РОЗРОБКА НАСОСІВ З ПОКРАЩЕНИМИ АНТИКАВІТАЦІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ (с. 33–40)

О. В. Тягно, М. С. Овчаренко, А. С. Ворожка, М. В. Лобуренко, А. А. Папченко

У розгляді питання про створення насосів з покращеними антикавітаційними характеристиками представлені результати поглибленого аналізу проблеми перекачування в'язких рідин при високій температурі. На прикладі технологічного процесу випарювання цукрового сиропу на плівковому випарному апараті новітнього типу було виявлено проблему виникнення кавітації при перекачуванні в'язких рідин з високою температурою.

Проаналізувавши існуючі машини, що використовуються для зазначених умов роботи, були виявлені критичні конструктивні і режимні параметри, що впливають на появу кавітації. А саме на появу кавітації впливають: наведений діаметр входу в робоче колесо, діаметр входу в колесо, число лопатей, ширина лопатей і частота обертання ротора.

Для дослідження рівня впливу зазначених параметрів був обраний метод фізичного моделювання, був спроектований і виготовлений експериментальний стенд. Були проведені дослідження роботи насоса з предвключеним шнеком і без шнека. Проаналізовано роботу з двох- і трилопатевим шнеком, досліджено роботу з відкритим і закритим робочим колесом, з одно- та дворівневою лопатевою системою.

В результаті аналізу експериментальних даних було обрано оптимальну конструкцію проточної частини з трилопатевим шнеком і напіввідкритим робочим колесом з дворівневою лопатевою системою. У свою чергу це дозволило зменшити стиснення потоку на вході в колесо без втрати енергетичної ефективності, кути нахилу лопаток шнека і робочого колеса було синхронізовано.

Отриманий досвід дозволив спроектувати і виготовити промисловий зразок консольного насоса зі шнеком і напіввідкритим робочим колесом, тим самим дозволивши вирішити проблему перекачування густого сиропу на плівковій випарній установці Теофіпольського цукрового заводу (Хмельницька область, Україна) з кавітаційним запасом 1,5 м.

Ключові слова: консольний насос, відцентрове робоче колесо, шнек, кавітаційний запас, плівковий випарний апарат.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242957

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ТА ПРИСКОРЕННЯ РЕШЕТА СЕПАРАТОРА ЛИСТОВОЇ ЧАСТИНИ ТРАВ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ ТА ВЕРТИКАЛЬНОМУ НАПРЯМКАХ (с. 41–50)

Tokhtar Abilzhanuly, Seitkazy Kehsuov, Askar Rzaliev, Omirserik Zhortuylov, Gani Zhumatay, Daniyar Abilzhanov, Darkhan Karmanov, Bauyrzhan Boranbayev

Вітамінно-трав'яне борошно є основним компонентом комбікормів, призначених для всіх видів тварин і птахів. Раніше та на сьогоднішній день приготування вітамінно-трав'яного борошна здійснюється з бобових трав і способом високотемпературної сушки. Однак існуючі способи мають великі експлуатаційні витрати та вимагають технічні засоби високої вартості.

Для зниження питомих експлуатаційних витрат і вартості обладнання при виробництві вітамінно-трав'яного борошна запропоновано спосіб, що полягає в тому, що основна сушка трави до вологості 30–35 % здійснюється на покосі, а досушка трави – на малогабаритному подстожному каналі без підігріву повітрям. Далі висушена маса попередньо подрібнюється. При цьому ніжна листова частина сіна, потрапляючи між бічними стінками молотків і контрмолотків, перетирається та дрібно подрібнюється, а стебла – на великі фракції. З попередньо подрібненого сіна листова частина сепарується та подається в дробарку для отримання борошна. При цьому основною машиною, яка визначає продуктивність лінії, є сепаратор листової частини трав.

В результаті теоретичних досліджень встановлено швидкість і прискорення переміщення сіна по поверхні решета. Ці значення визначають продуктивність сепарації листової частини з попередньо подрібненого сіна та достовірність обраної конструктивно-технологічної схеми сепаратора. Результати виробничих випробувань встановили достовірність і економічну ефективність запропонованого способу. Порівняння запропонованого способу отримання вітамінно-трав'яного борошна існуючими високотемпературними способами показало, що вміст каротину в борошні в 1,6 рази більше, а також питомі експлуатаційні витрати та вартість обладнання в 6–7 разів нижче.

Ключові слова: вітамінно-трав'яне борошно, високотемпературна сушка трави, сепаратор листя сіна, швидкість решета, прискорення решета.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.240194

ВСТАНОВЛЕННЯ УМОВ УТВОРЕННЯ ПРИСТІНКОВОГО ШАРУ ЗВ'ЯЗНОГО ЗЕРНИСТОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ ОБЕРТОВОГО БАРАБАНА (с. 51–61)

Ю. В. Науменко, К. Ю. Дейнека, Т. В. Мироненко

Оцінено вплив динамічних параметрів руху на утворення та зникнення на циліндричній поверхні камери обертового барабана пристінкового шару зв'язного зернистого завантаження.

На основі результатів експериментальної візуалізації течії виявлено вплив зв'язності на поведінку зернистого завантаження. Встановлено гідродинамічний ефект квазізрідження завантаження під дією зв'язності, який полягає у виникненні зчпної взаємодії між сусідніми шарами та з поверхнею камери. Виявлено перетворення зсувної циркуляційної течії на однорідний щільний кластеризований потік зі сповзанням та перекочуванням без відносного руху частинок.

Встановлено гідродинамічні характеристики переходу циркуляційної течії у режим пристінкового шару, під час прискорення обертання. Такий перехід реалізується шляхом плавного зростання товщини шару при циркуляції решти завантаження у нижній частині камери.

Встановлено ефект реологічного гістерезису руху завантаження обертової камери, зумовлений квазізрідженням зв'язного зернистого середовища. Ефект полягає у перевищенні швидкісної межі ω_{fl} утворення пристінкового шару, при прискоренні обертання, над межею ω_{dl} зникнення шару, при сповільненні обертання. Прояв гістерезису переважно посилюється зі збільшенням числа Рейнольдса. Інтенсивність посилення прояву гістерезису зростає зі зменшенням ступеня заповнення камери. Значення числа Фруда для меж ω_{fl} і ω_{dl} зростає зі збільшенням Re. Встановлено, що при відносному розмірі частинок дисперсного завантаження $\psi_{dc} \approx (0,065-1,04) \cdot 10^{-3}$ та $Re=30-500$, $Fr=1-2,9$, для меж ω_{fl} , та $Fr=0,5-1,4$, для меж ω_{dl} . Виявлено перевищення значення Fr для меж ω_{fl} над таким значення для меж ω_{dl} у 1,6–2,1 рази.

Встановлені ефекти дозволяють обґрунтувати раціональні параметри процесу подрібнення в барабанно-валкових млинах.

Ключові слова: барабанно-валковий млин, зв'язне зернисте завантаження, утворення пристінкового шару, реологічний гістерезис.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243391

РОЗРОБКА МЕХАНІЧНИХ І ВТОМНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ AA7001 ПІСЛЯ КОМБІНОВАНОГО ДРОБЕСТРУЙНОГО ОЧИЩЕННЯ З ГЛИБОКОЮ КРІОГЕННОЮ ОБРОБКОЮ ТА УЛЬТРАЗВУКОВОЇ УДАРНОЇ ОБРОБКИ З ГЛИБОКОЮ КРІОГЕННОЮ ОБРОБКОЮ (с. 62–69)

Aseel A. Alhamdany, Ali Y. Khenyab, Qusay K. Mohammed, Hussain J. M. Alalkawi

Сплави алюмінію давно становлять інтерес для аерокосмічної спільноти через їхню питому міцність, простоту виготовлення та низьку вартість. В останні роки, зі швидким розвитком озброєння, надвисокоміцні алюмінієві сплави 7XXX дедалі частіше використовуються у військових цілях. Хімічний аналіз AA7001 проводиться за підтримки Державної компанії з проектування, реабілітації та інспекції (SIER) в Іраку. Зміцнення поверхні (дробеструмінна обробка) допомагає уповільнити зародження тріщин і продовжити термін служби. Зразки для випробувань (на розтягування та втому) піддаються процесу дробеструмінного очищення (ДО) з використанням кулькової сталі з параметрами (тиск=12 бар, швидкість=40 мм/хв, відстань=150 мм, розмір пострілу=2,25 мм, охоплення=100%). Машина для ультразвукової ударної обробки (УУО) використовується для покращення властивостей поверхні. Для глибокої криогенної обробки (ГКО) зразки поміщали в камеру, що охолоджує. Стандартний зразок для випробування на розтягування готується у круглому перерізі з розмірами, вибраними відповідно до ASTM (A370-11). Після вивчення ефекту глибокої криогенної обробки (ГКО), комбінованого дробеструмінного зміцнення (КДО+ДКО) та ультразвукового ударного зміцнення (УУО+ДКО) AA7001 були проведені розтягування та втома обертового вигину з $R=-1$. Максимальний відсоток покращення межі міцності на розрив (ММР) за рахунок (ДКО), (ДО+ГКО) та (УУО+ДКО) становив близько 3%, 8,27% та 6,25% відповідно. Підвищення межі плинності через (ДКО), (ДО+ГКО) та (УУО+ДКО) склало 9,5%, 14,6% та 13,14% відповідно. Пластичність послідовно знижувалася на 8,57%, 12,5% та 11,42%. Підвищення міцності втоми в багатоцикловому режимі становить 16% для (ДО+ГКО) через комбінованих ефектів, це збільшення на 8% межі витривалості для втомних характеристик через індуквання залишкової напруги стиснення (ЗНС).

Ключові слова: AA7001, глибока криогенна обробка, ультразвукова дія, дробеструмінна обробка, розтягувальні та втомні властивості.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243245

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ КОЕФІЦІЄНТА ЗМЕНШЕННЯ ТОВЩИНИ, КУТА І КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ НА ЗАЛИШНІ НАПРУГИ В ПРОЦЕСІ ВИТЯЖКИ: АНАЛІЗ З ДОПОМОГО КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ (с. 70–78)

Akhmad Faizin, I Made Londen Batan, Agus Sigit Pramono, Arif Wahjudi

Витягування – це частина групи процесів обробки металів тиском, процес зменшення товщини стінки виробу у формі чашки. Зовнішнє навантаження, необхідне для обробки металів тиском, може спричинити залишкову напругу. Залишкова напруга може бути корисною або шкідливою в залежності від функції продукту, величини та напрямки залишкової напруги. Залишкова напруга може діяти як додаткове навантаження до цього навантаження. Залишкова напруга може впливати на якість продукту, а саме: точність розмірів, шорсткість поверхні та механічні властивості. На швидкість процесу витягування сильно впливають механічні властивості матеріалу чашки, коефіцієнт зменшення товщини та конструкція пресового інструменту. Процес витягування має обмежене значення коефіцієнта зменшення товщини, перевищення якого призводить до пошкодження продукту. Було проведено різні дослідження прасування для отримання оптимального процесу. У цьому дослідженні аналіз напруги проводився з використанням програмного моделювання ANSYS для визначення залишкової напруги, що виникає в процесі витяжки. Аналіз проводився шляхом зміни коефіцієнта зменшення товщини від 20% до 30%, кута матриці від 25° до 30° та коефіцієнта тертя від 0,05 до 0,15. Крім того, обробка та аналіз даних про напруги виконуються для отримання найбільш домінуючих змінних, що впливають на залишкову напругу, і значення змінної, яке дає найменшу залишкову напругу. Аналіз напруг проводився на алюмінієвих стаканках AA1100 із зовнішнім діаметром 37 мм, висотою 20 мм та товщиною стінок 2 мм. Результати показують, що коефіцієнт зменшення товщини і коефіцієнт тертя є домінуючими змінними, що впливають на залишкову напругу, в той час як кут матриці впливає не істотно. Найменша залишкова напруга виникає при коефіцієнті зменшення товщини 30% та коефіцієнті тертя 0,15.

Ключові слова: коефіцієнт зменшення товщини, кут матриці, коефіцієнт тертя, залишкова напруга.