

АНОТАЦІЯ

Сікіраш Ю. Є. Технологічні методи підвищення ефективності фінішних операцій при обробці ферокерамічних виробів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 Прикладна механіка. – Національний університет «Одеська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2026.

Дисертаційна робота присвячена розробці теорії та рекомендацій з технологічних методів зниження дефектів типу тріщин на фінішних операціях над виробами із ферокерамічних матеріалів.

Через високу твердість та абразивність ферити важко піддаються механічній обробці. Основним методом їхньої обробки є шліфування. Широке застосування знаходять інструменти з синтетичних алмазів при обробці феритів. Вивчення термомеханічних явищ, що впливають на якісні характеристики та тріщиностійкість поверхневого шару при шліфуванні виробів із ферокерамічних матеріалів з урахуванням спадкоємних неоднорідностей, є суттю даної праці.

Основна частина праці складається з трьох розділів.

У *першому* розділі наведено аналіз технології виробництва та оброблення робочих поверхонь ферокерамічних виробів на фінішних операціях. При обробці виробів із феритів, особливо на етапі алмазно-абразивного шліфування їхніх робочих поверхонь, виникають проблеми збереження якості. В першу чергу це відноситься до того, що на шліфувальних поверхнях цих виробів через високу крихкість з'являються тріщини та відколи.

Причиною інтенсивного тріщино- та відколоутворення є низькі механічні властивості самого матеріалу феритів та термомеханічні напруження, що формуються в поверхневому шарі при шліфуванні. На міцнісні характеристики феромагнітних сплавів в деякій мірі впливають структура, склад, форма, окремі фази. Наприклад, наявність γ – фази значно

знижує крихкість, збільшує міцність та шліфованість матеріалів. Проте обробка на γ – фазу призводить до різкого зниження магнітних властивостей таких сплавів.

Утворення шліфувальних тріщин на поверхні феритних виробів також пов'язано з кількістю неметалевих включень. Зменшити кількість таких включень, і разом з тим збільшити продуктивність шліфування, можна шляхом додавання до сплаву 0,1-0,25% сірки. Проте це призводить до збільшення зерен у відливах, що, в свою чергу, підвищує крихкість. Дослідження впливу способів спікання феромагнітних сплавів на механічні властивості показують, що кількість неметалевих включень суттєво залежить від температурних режимів, на яких проведено спікання.

Відсутність прямих досліджень щодо впливу швидкості та температури спікання феромагнітів на характер та поширення тріщин в процесі шліфування, а також використання більш тонких критеріїв для вивчення механізму виникнення шліфувальних тріщин залежно від режимів спікання, є актуальною науковою проблемою.

Визначальну роль при вивченні механізму руйнування поверхневого шару виробів на фінішних операціях відіграють термомеханічні процеси, що супроводжують алмазно-абразивну обробку. Велика теплонапруженість процесу шліфування є самостійною причиною виникнення тріщин на оброблюваних поверхнях феромагнітів. В дослідженнях термомеханічних явищ при шліфуванні та їхніх зв'язків з якістю поверхневого шару нині переважає експериментально-описовий підхід у вивченні причин тріщиноутворення. Іноді цей підхід ґрунтується на розгляді сил різання. Проте цього недостатньо, так як механічне трактування тріщиноутворення не враховує впливу теплових факторів, що формуються в поверхневому шарі на етапі одержання заготовки та інших технологічних процесів до фінішних операцій, які є домінуючими у формуванні тріщин на операції шліфування.

Причини виникнення шліфувальних тріщин пов'язують зі структурними напруженнями, що виникають в результаті відповідних структурних та фазових перетворень. Проте ці дослідження також мають частковий характер та не дозволяють в цілому охарактеризувати процес утворення тріщин на поверхні ферокерамічних виробів.

Наявні функціональні залежності технологічних параметрів від температури шліфування дають змогу за допомогою відповідних технологічних прийомів запобігати виникненню припикань на поверхнях виробів, що не мають конструктивно-технологічних неоднорідностей.

Проте відсутність досліджень особливостей процесів зародження шліфувальних тріщин та їх переходу в магістральні, залежно від конструктивних, технологічних та структурних неоднорідностей матеріалу ферокерамічних виробів, не дає змоги однозначно користуватися існуючими вказівками з усунення дефектів типу тріщин та відколів.

Метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності алмазного шліфування феромагнітних виробів шляхом зниження браку через тріщини та відколи за рахунок збільшення їхньої тріщиностійкості на етапі отримання заготованок, раціонального підбору режиму обробки, характеристик інструменту та мастильно-охолоджувальних технологічних середовищ.

У *другому* розділі проведено дослідження термомеханічних процесів, що супроводжують спікання феритів та наступну обробку їх шліфуванням.

Побудована імітаційна модель структури та властивостей ферокерамічних виробів при спіканні. Спільний розгляд спікання, охолодження та руйнування ферокераміки в умовах конкретних технологій, а також руйнування матеріалу внаслідок внутрішніх та зовнішніх термомеханічних впливів дозволяє безпосередньо перейти до оптимізації мікроструктурних властивостей, що відповідають за електромагнітні та міцнісні характеристики.

В цьому розділі досліджується оптимізація та управління термомеханічними процесами при отриманні ферокерамічних виробів на етапі спікання. Проводиться аналіз причин появи браку впродовж усього ходу технології виготовлення деталей та наводяться рекомендації зі зниження відходів, що виникають, на кожній із технологічних операцій. У виробництві оксидної кераміки найчастіше зустрічаються наступні види браку при спіканні: приховане розшарування, недопикання; переобпалювання; жолоблення. Для управління технологічними процесами та їхнім коригуванням стосовно різних типів магнітів розглядається нелінійна задача теплопровідності з обмеженнями на термонапруження та найбільшу температуру, що зводиться до ітераційного процесу, де на кожному кроці розв'язується задача, описана лінійним рівнянням параболічного типу з нелінійними фазовими обмеженнями. Запропонований підхід до розв'язування нелінійних задач теплопровідності з фазовими обмеженнями був апробований на задачі з марганець-цинковим феритом марки M2000HM. Для реалізації технологічного процесу виготовлення деталей із ферокераміки з забезпеченням необхідних властивостей запропоновано алгоритм оптимального управління термомеханічними процесами на операціях спікання та термомеханічної обробки. Для оптимізації управління технологічною системою в обмежувальну частину вносяться критерії якості оброблюваних виробів при максимальних показниках технологічного процесу.

Розроблено модель термомеханічних процесів при шліфуванні ферокерамічних виробів. Система рівнянь, що визначають тепловий та напружено-деформований стан при шліфуванні поверхні ферокерамічних деталей, верхній шар яких має неоднорідності типу включень та тріщин, містить: рівняння нестационарної теплопровідності, рівняння пружності Ламе в переміщеннях, початкові умови та граничні умови для температурних та деформаційних полів, враховуючі теплообмін з поверхні поза зоною контакту круга з деталлю та інтенсивного тепловиділення в зоні обробки. Для

забезпечення бездефектної обробки ферокерамічних виробів визначено критерії, що залежать від режимів обробки та характеристик інструменту.

Враховуючи те, що особливість моделі матеріалу пов'язана з статистичним характером розподілу небезпеки дефектів, побудовано стохастичну модель тріщиноутворення при шліфуванні виробів із ферокерамічних матеріалів. Розглянуто приклад розрахунку статистичних характеристик руйнування при тепловому впливі. Визначено ймовірнісний розподіл граничного теплового потоку та деякі його статистичні характеристики.

У *третьому* розділі розглянуто методи підвищення ефективності алмазного шліфування ферокерамічних виробів та перевірено дієвість розроблених технологічних критеріїв для контролю бездефектного оброблення. Досліджено вплив марки алмазів, зв'язки алмазного інструмента, зернистості та концентрації на зусилля різання при шліфуванні феритів. Також досліджено вплив елементів режиму шліфування на зусилля різання. При застосуванні МОТС встановлено, що водне МОТС забезпечує найбільш ефективне зниження максимальних розтягувальних напружень у поверхневому шарі феритів.

Ключові слова: ферокерамічні вироби, спікання, шліфування, тріщиноутворення, моделювання термомеханічних процесів, якість обробленої поверхні, технологічні методи.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації:

1. Усов А. В., Сікіраш Ю. Є. Методи ідентифікації математичних моделей термомеханічних процесів в об'єктах, що зазнають теплового впливу. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2019. № 2(69),

ч. 3. С. 185–191. (Фахове видання). (Автором розв’язано задачу з нелінійними параметрами)

2. Kunitsyn M., Usov A., Sikirash Y. Analytical Modelling of Crack Formation Potential in Thermomechanical Processing of Materials. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. / ed by V. Ivanov, J. Trojanowska, I. Pavlenko, J. Zajac, D. Peraković. Cham, 2021. P. 425–433. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7_42 (Scopus). (Автором впроваджені методи для розв’язання крайової задачі)

3. Усов А. В., Куніцин М. В., Сікіраш Ю. Є. Моделювання впливу гетерогенної структури сплавів на забезпечення якісних характеристик поверхневого шару на фінішних операціях. *Прикладні питання математичного моделювання*. 2021. Т. 4, № 1. С. 240–252. DOI: <https://doi.org/10.32782/KNTU2618-0340/2021.4.1.26> (Фахове видання). (Автором визначено зв’язок граничного значення теплового потоку з КІН)

4. Kunitsyn M., Usov A., Sikirash Y. Impact of the Heterogeneous Structure of Magnetic Hard Alloys on the Quality Characteristics of the Surface Layer During Grinding Processing. *Advanced Manufacturing Processes III. InterPartner 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering* / ed by V. Tonkonogyi, V. Ivanov, J. Trojanowska, G. Oborskyi, I. Pavlenko. Cham, 2022. P. 405–414. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4_40 (Scopus). (Автором встановлені фактори, що впливають на величину КІН)

5. Kunitsyn M., Usov A., Sikirash Y. Impact of Thermomechanical Phenomena in the Surface Layer of Functional-Gradient Materials on Quality Considering Hereditary Defects. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing V. DSMIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering* / ed by V. Ivanov, J. Trojanowska, I. Pavlenko, E. Rauch, D. Peraković. Cham, 2022. P. 404–413. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-06025-0_40 (Scopus). (Автором

проведені чисельні розрахунки контактної температури у покритті та матеріалі виробу)

6. Kunitsyn M., Usov A., Sikirash Y. Mathematical Modeling of Thermomechanical Phenomena in Machining of Products Made of Functionally Graded Materials. *Advanced Manufacturing Processes V. InterPartner 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering* / ed by V. Tonkonogyi, V. Ivanov, J. Trojanowska, G. Oborskyi, I. Pavlenko. Cham, 2024. P. 58–71. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-42778-7_6 (Scopus) (Автором встановлена залежність температурного поля в оброблюваному виробі від режимів обробки)

7. Usov A., Kunitsyn M., Zaychyk Y., Sikirash Y. Leveraging technological heredity to increase production efficiency of ferrocerramic products during final machining. *Cutting & Tools in Technological System*. 2024. № 100. P. 168–185. DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-7405.2024.100.12> (Фахове видання). (Автором змодельований процес спікання та розв'язана поставлена задача)

8. Usov A., Ivanov V., Kunitsyn M., Sikirash Y. Influence of Stochastically Distributed Defects on Crack Formation on Grinding Surfaces of Materials Prone to Cracking. *Advanced Manufacturing Processes VI. InterPartner 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering* / ed by V. Tonkonogyi, V. Ivanov, J. Trojanowska, G. Oborskyi. Cham, 2025. P. 651–662. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-82746-4_58 (Scopus) (Автором отримана функція розподілу граничного теплового потоку)

9. Kunitsyn M., Usov A., Sikirash Y. Mathematical Modeling for the Optimization of Technological Parameters to Enhance Product Quality in Ferrocerramic Materials. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VIII. DSMIE 2025. Lecture Notes in Mechanical Engineering* / ed by V. Ivanov, F. J. G. Silva, J. Trojanowska, A. M. G. Pinto. Cham, 2025. P. 338–346. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-95211-1_28 (Scopus). (Автором розв'язана

задача теплопровідності з обмеженнями, перевірено адекватність управління механічним станом заготованок)

10. Усов А. В., Зайчик Ю. І., Савін М. В., Сікіраш Ю. Є. Моделювання впливу дефектів у феромагнітних виробках на якість обробки на фінішних операціях. *Прикладні питання математичного моделювання*. 2025. Т. 8, № 1. С. 224–233. DOI: <https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2025-8-1-22> (Фахове видання). (Автором розроблено аналітичні умови, за яких спадковий дефект не перетворюється на магістральну тріщину під час шліфування)

11. Usov A., Kunitsyn M., Zaychyk Y., Sikirash Y. Modeling the impact of nonlinear oscillations on the quality of the working surface of parts in finishing operations. *Cutting & Tools in Technological System*. 2025. № 103. P. 82–95. DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-7405.2025.103.06> (Фахове видання). (Автором встановлені розрахункові залежності для визначення впливу спадкових дефектів, що утворюються на етапі спікання, на тріщиностійкість)

Наукові роботи, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Усов А. В., Куніцин М. В., Сікіраш Ю. Є. Математичне моделювання термомеханічних явищ при механічній обробці виробів із функціонально градієнтних виробів. *XV Міжнародна конференція «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2020) : матеріали конф., м. Вінниця, 8-10 жовтня 2020 р. / ВНТУ. Вінниця, 2020. С. 48–50. URL: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/30582>*

2. Usov A., Kunitsyn M., Sikirash Y. Control and management of thermo-mechanical phenomena during the mechanical processing of products made of materials with a non-homogeneous structure. *Proceedings of XVI International Conference Measurement and Control in Complex System (MCCS-2022) : proceedings of conf., Vinnytsia, November 15-17, 2022. DOI: <https://doi.org/10.31649/mccs2022.08>*

3. Усов А.В., Куніцин М.В., Сікіраш Ю.Є. Управління якістю оброблювальних поверхонь деталей із фероцерамічних матеріалів при їх виробництві. *XVII Міжнародна конференція «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2024) : матеріали конф.*, м. Вінниця, 16-17 жовтня, 2024 р. / ВНТУ. Вінниця, 2024. С. 99–106. DOI: <https://doi.org/10.31649/mccs2024.2-02>

4. Усов А. В. , Зайчик Ю. І., Сікіраш Ю. Є. Вплив сил різання на утворення тріщин при шліфуванні виробів із матеріалів, схильних до дефектоутворення. *"Фізичне виховання, безпека життєдіяльності і сучасні технології виробництва"* : збірник тез II Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Харків, 21 березня, 2025 р. / Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2025. С. 263–266.

ABSTRACT

Sikirash Y.Y. Technological methods for increasing the efficiency of finishing operations when processing ferroc ceramic products. – Qualification scientific work on rights of manuscript.

Dissertation for acquiring Doctor of Philosophy grade by the specialization 131 «Applied mechanics». – Odessa Polytechnic National University, Ministry of education and science of Ukraine, Odesa, 2026.

The dissertation is devoted to the development of a theory and technological recommendations for reducing crack formation during the grinding of ferroc ceramic materials.

Due to their high hardness and abrasiveness, ferrites are difficult to machine. The main method of machining them is grinding. Synthetic diamond tools are widely used for machining ferrites. The study of thermomechanical phenomena that affect the quality characteristics and crack resistance of the surface layer during grinding of products made of ferroc ceramic materials, taking into account hereditary inhomogeneities, is the essence of this work.

The main part of the work consists of three chapters.

The *first* chapter provides an analysis of the technology of production and processing of working surfaces of ferroceramic products in finishing operations. When processing ferrite products, especially at the stage of diamond abrasive grinding of their working surfaces, quality maintenance problems arise. First of all, this refers to the fact that cracks and chips appear on the grinding surfaces of these products due to their high fragility.

The reason for intensive crack and spalling is the low mechanical properties of the ferrite material itself and the thermomechanical stresses that form in the surface layer during grinding. The strength characteristics of ferromagnetic alloys are to some extent influenced by the structure, composition, shape, and individual phases. For example, the presence of the γ – phase significantly reduces brittleness, increases strength, and polishability of materials. However, treatment with the γ – phase leads to a sharp decrease in the magnetic properties of such alloys.

The formation of grinding cracks on the surface of ferritic products is also associated with the number of non-metallic inclusions. The number of such inclusions can be reduced while simultaneously increasing the grinding performance by adding 0.1–0.25% sulfur to the alloy. However, this leads to an increase in grains in the castings, which, in turn, increases brittleness.

Studies of the influence of sintering methods of ferromagnetic alloys on mechanical properties show that the number of non-metallic inclusions significantly depends on the temperature conditions at which sintering was carried out.

The lack of direct research on the influence of the sintering speed and temperature of ferromagnets on the nature and propagation of cracks during the grinding process, as well as the use of more refined criteria to study the mechanism of grinding crack formation depending on the sintering regimes, is a pressing scientific problem. Thermomechanical processes accompanying diamond abrasive processing play a decisive role in studying the mechanism of destruction of the surface layer of products during finishing operations.

The high thermal stress of the grinding process is an independent cause of cracks on the machined surfaces of magnets. In the study of thermomechanical phenomena during grinding and their relationship with the quality of the surface layer, the experimental-descriptive approach to studying the causes of crack formation currently prevails. Sometimes this approach is based on the consideration of cutting forces. However, this is not enough, since the mechanical interpretation of crack formation does not take into account the influence of thermal factors that are formed in the surface layer at the stage of obtaining the workpiece and other technological processes before finishing operations, which are dominant in the formation of cracks during grinding operations.

The causes of grinding cracks are associated with structural stresses arising from the corresponding structural and phase transformations. However, these studies are also partial and do not allow for a comprehensive description of the process of crack formation on the surface of ferroceramic products.

The existing functional dependences of technological parameters on the grinding temperature make it possible, using appropriate technological techniques, to prevent the occurrence of caking on the surfaces of products that do not have structural and technological inhomogeneities.

However, the lack of research into the specifics of the processes of nucleation of grinding cracks and their transition into main cracks, depending on the design, technological and structural inhomogeneities of the material of ferroceramic products, does not allow us to unambiguously use existing instructions for eliminating defects such as cracks and chips.

The aim of this dissertation research is to enhance the efficiency of diamond grinding of ferromagnetic products by reducing defects due to cracks and chips by increasing their crack resistance at the stage of obtaining blanks, rational selection of the processing mode, tool characteristics, and lubricating and cooling technological media.

The *second* chapter studies the thermomechanical processes that accompany the sintering of ferrites and their subsequent processing by grinding.

A simulation model of the structure and properties of ferroceramic products during sintering has been constructed. Joint consideration of sintering, cooling and fracture of ferroceramics under specific technological conditions as well as material destruction due to internal and external thermomechanical influences, allows us to proceed directly to the optimization of microstructural properties responsible for electromagnetic and strength characteristics.

This chapter investigates the optimization and control of thermomechanical processes in the production of ferroceramic products at the sintering stage. An analysis of the causes of defects is carried out throughout the entire process of manufacturing parts and recommendations are provided to reduce waste generated during each of the technological operations. In the production of oxide ceramics, the following types of sintering defects are most often encountered: hidden delamination, underfiring; overfiring; gouging. To control technological processes and their adjustment for different types of magnets, a nonlinear thermal conductivity problem with constraints on thermal stress and maximum temperature is considered that reduces to an iterative process, where at each step a problem described by a linear equation of parabolic type with nonlinear phase constraints is solved. The proposed approach to solving nonlinear thermal conductivity problems with phase constraints was tested on problems with manganese-zinc ferrite of the M2000HM brand. To implement the technological process of manufacturing ferroceramic parts with the necessary properties, an algorithm for optimal control of thermomechanical processes during sintering and thermomechanical processing operations has been proposed. To optimize the management of the technological system, quality criteria for processed products at maximum technological process parameters are introduced into the restrictive part.

A model of thermomechanical processes during the grinding of ferroceramic products has been developed. A system of equations that determines the temperature

field and the stress–strain state in the grinding of ferroceramic surfaces, the upper layer of which has inhomogeneities such as inclusions and cracks, contains: equations of non-stationary thermal conductivity, equations of Lamé elasticity in displacements, initial conditions and boundary conditions for temperature and deformation fields, taking into account heat exchange from the surface outside the contact zone of the wheel with the part and intensive heat release in the processing zone. To ensure defect-free processing of ferroceramic products, criteria have been defined that depend on processing modes and tool characteristics.

Considering that the peculiarity of the material model is associated with the statistical nature of the distribution of dangerous defects, a stochastic model of crack formation during grinding of products made of ferroceramic materials was constructed. An example of calculating statistical characteristics of fracture under thermal influence is considered. The probabilistic distribution of the limiting heat flux and its main statistical characteristics have been determined.

The *third* section examines methods for increasing the efficiency of diamond grinding of ferroceramic products and tests the effectiveness of the developed technological criteria for controlling the process of defect-free grinding of products made of difficult-to-process materials. The influence of diamond grade, diamond tool bond, grain size, and concentration on cutting forces when grinding ferrites was investigated. The influence of grinding mode elements on cutting forces was also investigated. When using lubricating and cooling technical media, it was found that the aqueous lubricating and cooling technical medium provides the most effective reduction of maximum tensile stresses in the surface layer of ferrites.

Keywords: ferroceramics products, sintering, grinding, crack formation, modeling of thermomechanical processes, quality of the treated surface, technological methods.

LIST OF PUBLICATIONS BY THE APPLICANT ON THE DISSERTATION TOPIC

Papers in which the main results of the dissertation are published:

1. Usov, A. V., & Sikirash, Y. Y. (2019). Methods of identification mathematical models of thermomechanical processes in objects under thermal influence. *Visnyk of Kherson National Thechnical University*, 2(69), part 3, 185-191.
2. Kunitsyn, M., Usov, A., & Sikirash, Y. (2021). Analytical Modelling of Crack Formation Potential in Thermomechanical Processing of Materials. In: Ivanov, V., Trojanowska, J., Pavlenko, I., Zajac, J., Peraković, D. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering* (pp. 425-433). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7_42.
3. Usov, A.V., Kunitsyn, M.V., & Sikirash Y.Y. (2021). Modeling the influence of the heterogeneous structure of alloys on providing qualitative characteristics of the surface layer in finishing operations. *Applied Questions of Mathematical Modelling*, 4(1), 240-252. <https://doi.org/10.32782/KNTU2618-0340/2021.4.1.26>.
4. Kunitsyn, M., Usov, A., & Sikirash, Y. (2022). Impact of the Heterogeneous Structure of Magnetic Hard Alloys on the Quality Characteristics of the Surface Layer During Grinding Processing. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds) *Advanced Manufacturing Processes III. InterPartner 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering* (pp. 405-414). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4_40.
5. Kunitsyn, M., Usov, A., & Sikirash, Y. (2022). Impact of Thermomechanical Phenomena in the Surface Layer of Functional-Gradient Materials on Quality Considering Hereditary Defects. In: Ivanov, V., Trojanowska, J., Pavlenko, I., Rauch, E., Peraković, D. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing V. DSMIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering* (pp. 404-413). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06025-0_40.

6. Kunitsyn, M., Usov, A., & Sikirash, Y. (2024). Mathematical Modeling of Thermomechanical Phenomena in Machining of Products Made of Functionally Graded Materials. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds) *Advanced Manufacturing Processes V. InterPartner 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering* (pp. 58-71). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42778-7_6.
7. Usov, A., Kunitsyn, M., Zaychyk, Y., & Sikirash, Y. (2024). Leveraging technological heredity to increase production efficiency of ferrocerramic products during final machining. *Cutting & Tools in Technological System*, 100, 168-185. <https://doi.org/10.20998/2078-7405.2024.100.12>.
8. Usov, A., Ivanov, V., Kunitsyn, M., Sikirash, Y. (2025). Influence of Stochastically Distributed Defects on Crack Formation on Grinding Surfaces of Materials Prone to Cracking. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G. (eds) *Advanced Manufacturing Processes VI. Interpartner 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering* (pp. 651-662). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-82746-4_58.
9. Kunitsyn, M., Usov, A., & Sikirash, Y. (2025). Mathematical Modeling for the Optimization of Technological Parameters to Enhance Product Quality in Ferroceramic Materials. In: Ivanov, V., Silva, F.J.G., Trojanowska, J., Pinto, A.M.G. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VIII. DSMIE 2025. Lecture Notes in Mechanical Engineering* (pp. 338-346). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-95211-1_28.
10. Usov, A. V., Zaychyk, Y. I., Savin, M. V., & Sikirash, Y. Y. (2025). Modeling the impact of defects in ferromagnetic products on the quality of processing in finishing operations. *Applied Questions of Mathematical Modelling*, V.8, 1, 224-233. <https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2025-8-1-22>.
11. Usov, A., Kunitsyn, M., Zaychyk, Y., & Sikirash, Y. (2025). Modeling the impact of nonlinear oscillations on the quality of the working surface of parts in

finishing operations. *Cutting & Tools in Technological System*, 103, 82-95. <https://doi.org/10.20998/2078-7405.2025.103.06>.

Papers demonstrating the approbation of the dissertation materials:

1. Usov, A. V., Kunitsyn, M. V., & Sikirash Y. Y. (2020). Mathematical modeling of thermomechanical phenomena during mechanical processing of functionally gradient products. *Proceedings of XV International Conference Measurement and Control in Complex System (MCCS-2020)* (pp. 48-50). Vinnytsia National Technical University. <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/30582>.
2. Usov, A., Kunitsyn, M., & Sikirash, Y. (2022). Control and management of thermo-mechanical phenomena during the mechanical processing of products made of materials with a non-homogeneous structure. *Proceedings of XVI International Conference Measurement and Control in Complex System (MCCS-2022)*. Vinnytsia National Technical University. <https://doi.org/10.31649/mccs2022.08>.
3. Usov, A. V., Kunitsyn, M. V., & Sikirash Y. Y. (2024). Quality management of machining processes for parts made of ferroceramic materials during their production. *Proceedings of XVII International Conference Measurement and Control in Complex System (MCCS-2024)*. (pp. 48-50). Vinnytsia National Technical University. <https://doi.org/10.31649/mccs2024.2-02>.
4. Usov, A. V., Zaychyk, Y. I., & Sikirash Y. Y. (2025). The influence of cutting forces on the formation of cracks during grinding of products made of materials prone to defect formation. *II All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Physical Education, Life Safety and Modern Production Technologies"* (pp. 263–266). Simon Kuznets Kharkov National University of Economics.