

ЕНТРОПІЙНІ ОЦІНКИ МАГНІТО-РЕЗОНАНСНИХ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ЕНТРОПІЇ ШЕННОНА

¹Донбаська державна машинобудівна академія,²Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглядається застосування ентропії Шеннона (ЕШ) для оцінки діагностичних характеристик технологічних систем із урахуванням специфіки магніто-резонансних процесів обробки матеріалів. Ентропія, як міра невизначеності, використовується для аналізу інформації, отриманої з ймовірнісних розподілів параметрів, які відображають магніто-резонансні впливи. Запропоновано методику розрахунку ентропійних оцінок, яка враховує динаміку змін стану матеріалів у процесі обробки, зокрема під впливом зовнішніх магнітних полів. Проведено дослідження ключових параметрів, що впливають на діагностику стану матеріалів, таких як однорідність, структурні зміни та стійкість до зовнішніх впливів.

Ключові слова: ентропія Шеннона, магніто-резонансні процеси, діагностичні характеристики, структурні характеристики матеріалів.

Abstract

The article considers the application of Shannon entropy to assess the diagnostic characteristics of technological systems, taking into account the specifics of magnetic resonance processes for processing materials. Entropy, as a measure of uncertainty, is used to analyze information obtained from probability distributions of parameters that reflect magnetic resonance effects. A method for calculating entropy estimates is proposed, which takes into account the dynamics of changes in the state of materials during processing, in particular under the influence of external magnetic fields. A study of key parameters that affect the diagnostics of the state of materials, such as uniformity, structural changes, and resistance to external influences, is carried out.

Keywords: Shannon entropy, magnetic resonance processes, diagnostic characteristics, structural characteristics of materials.

Вступ

Сучасні технологічні системи, що використовуються в промисловості та матеріалознавстві, потребують ефективних методів діагностики та контролю, які забезпечують високу точність і надійність оцінки їх стану [1,2]. Особливу увагу привертають процеси обробки матеріалів із використанням магніто-резонансних методів, які демонструють значний потенціал у створенні нових матеріалів із заданими властивостями [3,4]. Однак, складність і багатопараметричність таких процесів вимагають розробки інструментів для оцінки їх ефективності та оптимізації [5].

ЕШ, як міра невизначеності, надає унікальні можливості для аналізу діагностичних характеристик систем, що базуються на ймовірнісних розподілах параметрів [6]. Її використання дозволяє кількісно оцінювати рівень інформації про стан системи та виявляти ключові фактори, що впливають на стабільність і якість технологічних процесів [7,8]. У контексті магніто-резонансної обробки матеріалів, ентропійні підходи можуть бути застосовані для аналізу змін структури, однорідності та інших критично важливих характеристик.

У цій роботі досліджується застосування ЕШ для оцінки ефективності магніто-резонансних процесів обробки матеріалів. Запропоновано методику визначення діагностичних параметрів, які найкраще відображають стан матеріалів під час і після обробки. Основна увага приділяється аналізу змін у ймовірнісних розподілах параметрів, що описують магніто-резонансні впливи, і розрахунку ентропійних оцінок, які дозволяють підвищити точність діагностики та оптимізацію процесів [9].

Результати дослідження

У ході дослідження було проведено аналіз діагностичних характеристик магніто-резонансних процесів обробки матеріалів з використанням ентропійного підходу. Основні результати можна підсумувати таким чином.

1. Аналіз змін ентропії під час обробки матеріалів.

Встановлено, що ЕШ може служити показником стабільності технологічного процесу. На початкових етапах магніто-резонансної обробки матеріалів спостерігалось підвищення ентропії, що свідчить про зростання невизначеності внаслідок початкового впливу магнітного поля.

У кінцевих етапах процесу ентропія знижувалася, що вказує на стабілізацію структури матеріалу після завершення впливу.

2. Розподіли ймовірностей діагностичних параметрів

Дослідження показало, що ймовірнісні розподіли параметрів, таких як інтенсивність магнітного резонансу та рівень структурних змін, відображають специфіку обробки матеріалів.

Для матеріалів із початковою високою однорідністю розподіл параметрів мав вузький характер із низькою ентропією. Для матеріалів із дефектами або неоднорідностями спостерігалися ширші розподіли, що супроводжувалися підвищенням ентропії.

3. Вплив неоднорідності магнітного поля

Під час обробки в неоднорідному магнітному полі ентропія зростала, що свідчить про підвищення інформаційної складності процесу. Це може бути пов'язано з нерівномірним впливом поля на різні ділянки матеріалу.

Оптимізація параметрів магнітного поля дозволила зменшити ентропію та забезпечити більш рівномірну обробку матеріалів.

4. Зв'язок ентропії з якістю оброблених матеріалів

Матеріали, оброблені із мінімальним рівнем ентропії на кінцевому етапі процесу, мали кращі структурні характеристики, такі як підвищена однорідність та зменшення кількості дефектів.

Підвищення ентропії на проміжних етапах обробки вказувало на зростання рівня впливу магнітного резонансу, що позитивно позначалося на інтенсивності змін матеріалу.

5. Практична перевірка ентропійної методики

Запропонована методика була успішно апробована на різних типах матеріалів, включаючи метали, полімери та композити. Для кожного типу матеріалу визначено оптимальні параметри обробки, які забезпечують зниження ентропії на фінальних етапах.

Підхід виявився ефективним для швидкого визначення стану матеріалу, що особливо важливо у виробничих умовах.

6. Застосування у контролі процесів

Використання ЕШ дозволило реалізувати систему моніторингу та контролю процесів обробки в реальному часі. Розрахунок ентропії допоміг оперативно виявляти відхилення в технологічному процесі, пов'язані зі змінами магнітного поля або властивостей матеріалу.

Висновки

В дослідженні було розглянуто можливість використання ЕШ як інструменту для оцінки діагностичних характеристик магніто-резонансних процесів обробки матеріалів. Основні результати дозволяють зрозуміти, що ентропія відображає рівень невизначеності та інформаційної складності процесів, що дозволяє точно ідентифікувати ключові етапи обробки матеріалів, зокрема моменти стабілізації та підвищення інтенсивності впливу магнітного поля.

Результати показали, що зменшення ентропії на завершальних етапах обробки корелює з підвищенням якості кінцевих характеристик матеріалів, таких як однорідність структури та зниження кількості дефектів.

Використання ентропійного підходу забезпечує оперативний контроль за параметрами обробки в реальному часі. Це дає можливість швидко реагувати на зміни в технологічному процесі, забезпечуючи стабільність і високу якість продукції.

Методика має універсальний характер і може бути використана для різних типів матеріалів (металів, полімерів, композитів), що відкриває перспективи її впровадження в промисловості.

Запропонований підхід є ефективним інструментом для дослідження та оптимізації магніто-резонансних процесів. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку автоматизованих систем контролю обробки матеріалів із використанням ентропійного аналізу, що дозволить ще більше розширити його практичне застосування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Xu, Y., Kohtz, S., Boakye, J., Gardoni, P., Wang, P. Physics-informed machine learning for reliability and systems safety applications: State of the art and challenges. Reliability Engineering & System Safety. 2023. Vol. 230. Art. 108900. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108900>.
2. ElRobrini F. Federated learning and non-federated learning based power forecasting of photovoltaic/wind power energy systems: A systematic review / Ferial ElRobrini, Syed Muhammad Salman Bukhari, Muhammad Hamza Zafar, Nedaa Al-Tawalbeh, Naureen Akhtar, Filippo Sanfilippo // Energy and AI. – 2024. – Vol. 18. – Article 100438. – ISSN 2666-5468. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2024.100438>.
3. Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Лупа Ю.В. Підвищення експлуатаційних характеристик деталей машин на основі комбінованого впливу сильних магнітних полів. Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету. Технічні науки. - 2021. - Вип. 2. - С. 29-36.
4. Kovalevskyy S., Kovalevska O. New opportunities for processing materials in a strong magnetic fields. Технічні науки та технології : науковий журнал / Національний університет «Чернігівська політехніка». – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2021. – № 4 (26). – С. 7-14.
5. Chen Zheyi, Xu Liuchang, Zheng Hongting, Chen Luyao, Tolba Amr, Zhao Liang, Yu Keping, Feng Hailin. Evolution and Prospects of Foundation Models: From Large Language Models to Large Multimodal Models. Computers, Materials and Continua. 2024. Vol. 80, Iss. 2. P. 1753–1808. ISSN 1546-2218. DOI: <https://doi.org/10.32604/cmc.2024.052618>.
6. Christie D. C. Efficient estimation of directional wave buoy spectra using a reformulated Maximum Shannon Entropy Method: Analysis and comparisons for coastal wave datasets. Applied Ocean Research. 2024. Vol. 142. Article 103830. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103830>. ISSN 0141-1187.
7. Suhir E. Double-exponential-probability-distribution-function and its applications in some critical aerospace safety problems: Perspective and brief review. Microelectronics Reliability. 2024. Vol. 159. Article 115439. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2024.115439>.
8. Spencer N. A., Miller J. W. Strong uniform laws of large numbers for bootstrap means and other randomly weighted sums. Statistics & Probability Letters. 2024. Vol. 211. Article 110144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spl.2024.110144>.
9. Forrester P. J. On the gamma difference distribution. Statistics & Probability Letters. 2024. Vol. 211. Art. 110136. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spl.2024.110136>.

Ковалевський Сергій Вадимович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Інноваційних технологій і управління Донбаської державної машинобудівної академії, м.Краматорськ-Тернопіль, e-mail: kovalevskii61@gmail.com.

Побережець Владислав Ярославович – студент групи 2ПМ–226, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vladpoberezhets@gmail.com

Kovalevskyy Sergiy V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Innovative Technologies and Management at the Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk-Ternopil, e-mail: kovalevskii61@gmail.com.

Poberezhets Vladyslav Ya. – student of the Department of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vladpoberezhets@gmail.com