

© С.В. Ковалевський¹, О.С. Ковалевська¹, Д.М. Сидюк¹

¹ Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, Україна

УПРАВЛІННЯ ВЛАСТИВОСТЯМИ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОДАЛЬШОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ЖИТТЄВИХ ЦИКЛІВ ВИРОБІВ

© S. Kovalevskyi¹, O. Kovalevska¹, D. Sydiuk¹

¹ Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

TO MANAGEMENT OF THE PROPERTIES OF MATERIALS FOR THE SUBSEQUENT OPTIMIZATION OF LIFE CYCLES OF PRODUCTS

Мета. Метою дослідження є встановлення можливості розпізнавання характеристик внутрішнього стану і підтвердження впливу атомних або молекулярних зв'язків на зміну окремих показників фізико-механічних властивостей немагнітних металевих (алюміній, мідь) та неметалевих (полімерних) матеріалів.

Методика. Дослідження проводяться на основі магнітного резонансу зі застосуванням неодимових магнітів і електричного струму, модульованого білим шумовим сигналом, а також за допомогою двох неодимових магнітів.

Результати. При застосування неодимових магнітів та електричного струму, модельованого білим шумовим сигналом в діапазоні 15-20000 Гц, для створення ефекту магнітного резонансу для немагнітних металевих матеріалів спостерігається зростання міцності до набуття пікових значень з поступовим зменшенням до середнього значення. Взаємодія магнітних полів неодимового магніту та електричного струму відбувається в тілі зразків на субкристалічному і субатомному рівнях. Тому цей ефект пояснюється тим, що в результаті коливаний в матеріалі відбувається ущільнення дислокацій. У момент зміна тертя спокою тертям ковзання бар'єр накопичення дислокацій руйнується, після чого процес повторюється знову. При застосуванні двох неодимових магнітів для створення ефекту магнітного резонансу для текстоліту та оргскла, тобто для групи неметалевих матеріалів, спостерігається підтвердження теорії про одночасне зниження ентропії у вигляді зростання впорядкованості, а саме впорядкованості доменів та ущільнення дислокацій, з ростом міцності. Підтверджується вплив магнітно-резонансної обробки на зміни, що відбуваються на атомно-молекулярному рівні в полімерних матеріалах.

Наукова новизна. Встановлені залежності свідчать про зв'язок між зміцненням матеріалу та покращенням якості його структури: впорядкування доменів та ущільнення дислокацій, які створюються магнітним резонансом.

Практична значимість. Отримані дані дають підстави до розробки комплексного методу впливу на ряд параметрів фізико-механічних властивостей зі застосуванням магнітного резонансу на основі неодимових магнітів для впливу та на можливість прогнозування життєвого циклу.

Ключові слова: життєвий цикл виробів, управління властивостями матеріалів, наноамплітудні коливання, однорідне магнітне поле, резонанс експериментальних зразків, магнітно-резонансна обробка матеріалів.

Вступ. Відомо, що вимоги до параметрів продукції, її виробництва та технології постійно зростають. Зважаючи на це необхідно виконати великий обсяг

підготовчих робіт, зокрема, пов'язаних з технологічною підготовкою виробництва. Від якості та глибини конструкторських розробок залежить ефективність виробництва та витрати, пов'язані з переналагодженням виробничих потужностей та оптимізацією їх використання. У цьому напрямку актуальними є задачі забезпечення розмірних показників, що формуються при розробці конструкцій виробів та технологічних процесів виготовлення [1-3].

Розмірний аналіз включає питання, пов'язані з розробкою та аналізом конструкцій, а також питання, пов'язані з розробкою технологічних процесів, аналізом процесів складання – перевіркою складання складальних одиниць, вибором виду складання. Метою є забезпечення якості та технологічності виробів, отримання розмірів, допусків і граничних відхилень. Це сприяє мінімізації витрат на виробництво при забезпеченні якості життєвих циклів машинобудівної продукції [2, 3]. Тому слід виконувати комплекс робіт, що складається з:

- побудови розмірних схем технологічних процесів;
- виявлення та фіксації взаємозв'язків всіх розмірних параметрів;
- визначення розмірних цілей і призначення обґрунтованих допусків;
- визначення номінальних значень операційних розмірів тощо.

Без цього проектування оптимальних технологічних процесів зводиться до укрупненого проектування на рівні типової технології, оскільки розмірний аналіз пов'язаний з контролем точності і метрологією, пов'язаний із забезпеченням розмірів і мінімізацією витрат.

Проблема розмірного аналізу пов'язана з труднощами:

- розрахунку лінійних і діаметральних конструкторських і технологічних розмірів;
- розрахунок точності складання;
- неповною автоматизацією розрахунку, необхідністю побудови зображень розмірних схем, невизначеністю напрямків ланок розмірного ланцюга при розрахунку технологічних розмірів;
- висока трудомісткість попередньої підготовки вихідних даних;
- встановлення розмірних зв'язків шляхом побудови лінійних розмірних ланцюгів і ланцюгів відносних обертань.

Роль технолога полягає в забезпеченні створення та існування таких ланцюгів. Побудова граф-схем на основі розмірного аналізу дозволяє перейти до такого представлення виробу, коли конструкторські, технологічні та експлуатаційні розміри, допуски та їх квалітети розглядаються разом. Труднощі використання полягають у складності створення загальної схеми, яка враховує заготовку, виготовлення, складання з іншими елементами та зміни в процесі експлуатації.

Постановка завдання. Існуючий метод графоаналітичного розрахунку є методом відстеження розмірного ланцюга деталі на кожній стадії життєвого циклу. На його основі можна оптимізувати розміри і припуски, тим самим впливаючи на стан і якість деталі і поверхонь. Однак комплексне врахування змін (допуски на заготовку, зміна розміру припуску або компенсуючої ланки) призводить до перерахунку всієї схеми, її структури. При цьому неможливо відстежити внутрішні фізико-механічні властивості (внутрішні напруження, поверхневу та

об'ємну твердість, тріщини та дефекти). Тому виникає потреба у створенні методу, який дозволить прогнозувати зміни стану об'єкта (деталі, виробу) в залежності від зміни зовнішніх параметрів.

Основним завданням експериментальних випробувань, поряд з дослідженням можливості пізнання характеристик внутрішнього стану фізико-механічних властивостей та можливості їх використання для прогнозування в умовах змінного характеру зовнішніх факторів, є підтвердження впливу атомних або молекулярних зв'язків на зміну окремих показників фізико-механічних властивостей немагнітних металевих (алюміній, мідь) та неметалевих (полімерних) матеріалів. В основу експериментальної установки покладено принцип модуляції постійного струму змінним струмом, який має амплітудно-частотну характеристику, що відповідає "білому шуму", здатний створювати змінне магнітне поле навколо провідника зі струмом за допомогою декількох неодимових магнітів.

Основна частина.

Створення ефекту магнітного резонансу здійснюється за допомогою неодимових магнітів і електричного струму, модульованого білим шумовим сигналом.

Раніше авторами роботи було показано, що механічні наноамплітудні коливання зразків в однорідному магнітному полі сильного (неодимового) магніту можуть призводити до зміни структури зразків сталевих деталей та підвищувати характеристики твердості матеріалів [4,5]. Слід зазначити, що механічні коливання зразків магнітних матеріалів в однорідному полі постійних магнітів визначаються властивостями механічного вібратора - його принципом дії та амплітудно-частотною характеристикою. Це створює певні труднощі при проектуванні налагодження магнітно-резонансної обробки великогабаритних виробів, в тому числі виготовлених з немагнітних металевих матеріалів, таких як корпусні деталі відповідальних виробів, наприклад, з алюмінієвих, магнієвих, титанових та ін. матеріалів і сплавів. До таких виробів можуть належати корпусні частини літальних апаратів, космічних кораблів або вироби подвійного призначення. Також практичний інтерес для електротехнічної промисловості представляють можливості фізико-механічних властивостей для покращення виготовлення та експлуатації деталей з мідних сплавів. Представлений матеріал показує подальший розвиток робіт авторів для зразків немагнітних металевих матеріалів.

Відомо, що навколо провідника зі струмом утворюється магнітне поле. Змінне магнітне поле, яке резонансно взаємодіє з магнітним полем атомів речовини, може призводити до руху атомів речовини [6, 7]. Модуляція постійного струму змінним струмом, який має амплітудно-частотну характеристику, що відповідає так званому "білому шуму", здатна створити змінне магнітне поле навколо провідника зі струмом (рис.1).

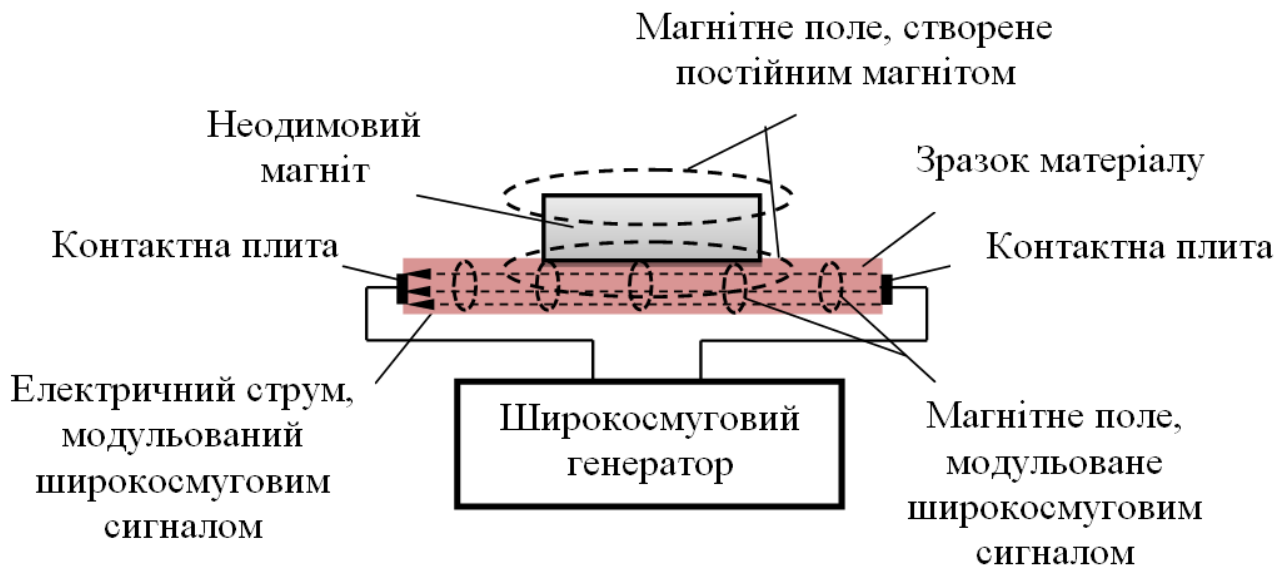


Рис. 1. Принципова схема установки експериментального стенду

Для проведення експериментальних досліджень використовувалися:

- 1) алюмінієві пластини марки АД0 (1011) розмірами 150x100x8 мм, початкова твердість пластини – 95 НВ;
- 2) мідні пластини марки М2 розмірами 150x80x10 мм, початкова твердість пластини – 55 НВ.

Обробка зразків тривала 25 хв, з інтервалом 5 хв. Використовувався бездимний магніт діаметром $D=30$ мм і $H=10$ мм. Параметри струму модулювалися сигналом "білого шуму" в діапазоні 15-20000 Гц, вихідна потужність кінцевого каскаду підсилювача низької частоти становила 100 Вт, а опір навантаження – 8 Ом. Отримані результати наведені в таблиці 1 та на рисунку 2.

Таблиця 1

Результати запропонованої обробки зразків немагнітних металевих матеріалів

t, хв.	НВ (зразок АД0)	НВ (зразок М2)
0	95	55
5	125	61
10	136	79
15	124	64
20	108	68
25	107	66

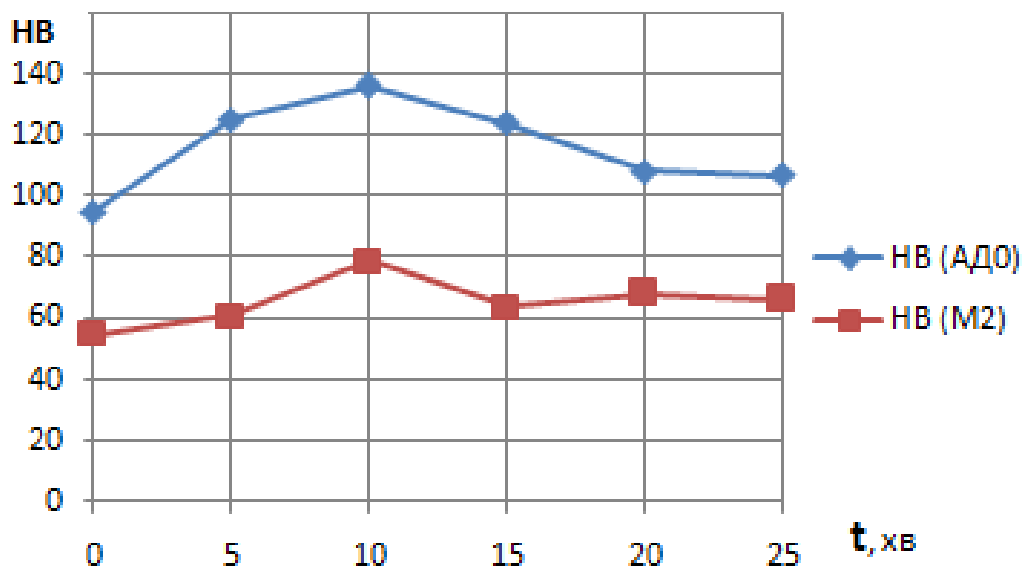


Рис. 2. Результати обробки зразків немагнітних металевих матеріалів

Збільшення значень HB для зразків з матеріалів АД0 та М2 свідчить про те, що процеси магнітно-резонансної обробки дійсно впливають на певні фізико-механічні параметри стану немагнітних металевих матеріалів. Набуття пікових значень HB після 10 хвилин взаємодії магнітного поля, утвореного постійним неодимовим магнітом, та магнітного поля, що діє в тілі зразка в результаті пропускання через зразок електричного струму, модульованого широкосмуговим сигналом в діапазоні 15-20000 Гц. Оскільки взаємодія магнітних полів відбувається в тілі зразків, тобто на субкристалічному і субатомному рівнях, то цей ефект, ймовірно, можна пояснити тим, що спочатку в результаті коливань в матеріалі відбувається ущільнення дислокацій. В якийсь момент (зміна тертя спокою тертям ковзання) умовний бар'єр накопичення дислокацій руйнується, після чого процес повторюється знову. Але це припущення потребує додаткових металографічних досліджень.

Створення ефекту магнітного резонансу експериментального зразка, розміщеного між двома неодимовими магнітами.

У роботі [8] вказується на перспективність магнітно-резонансної обробки сталевих зразків. Там же висловлюється припущення про субатомну і субкристалічну природу явищ, що супроводжують зміну деяких фізико-механічних властивостей матеріалів, підданих магнітно-резонансній обробці. Це припущення також може бути актуальним з огляду на роботу [9, 10].

Тому основним завданням експериментальних досліджень є підтвердження впливу атомних або молекулярних зв'язків на зміну окремих показників фізико-механічних властивостей немагнітних неметалевих матеріалів, наприклад, полімерних матеріалів.

Для проведення експериментальних досліджень запропоновано експериментальний стенд, принцип роботи якого наведено на схемі (рис.3).

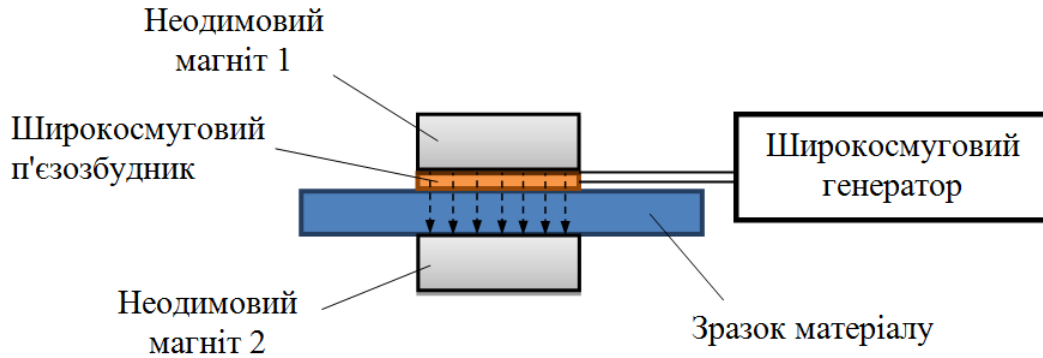


Рис. 3. Принципова схема установки експериментального стенду

У таблиці 2 та на рисунку 4 представлені результати магнітно-резонансної обробки ПТК текстоліту, які можуть бути використані для виготовлення таких деталей, як втулки, підшипники ковзання, ролики, шестерні та інші вироби.

Таблиця 2

Результати експериментальних випробувань зразків ПТК текстоліту

t, хв	Середнє НВ	НВ, мін	НВ, макс
0	176	168	184
5	183	171	195
10	193	185	201
15	198	192	203
20	198	193	203
25	195	185	205
30	179	155	204
35	172	157	188
40	172	162	182

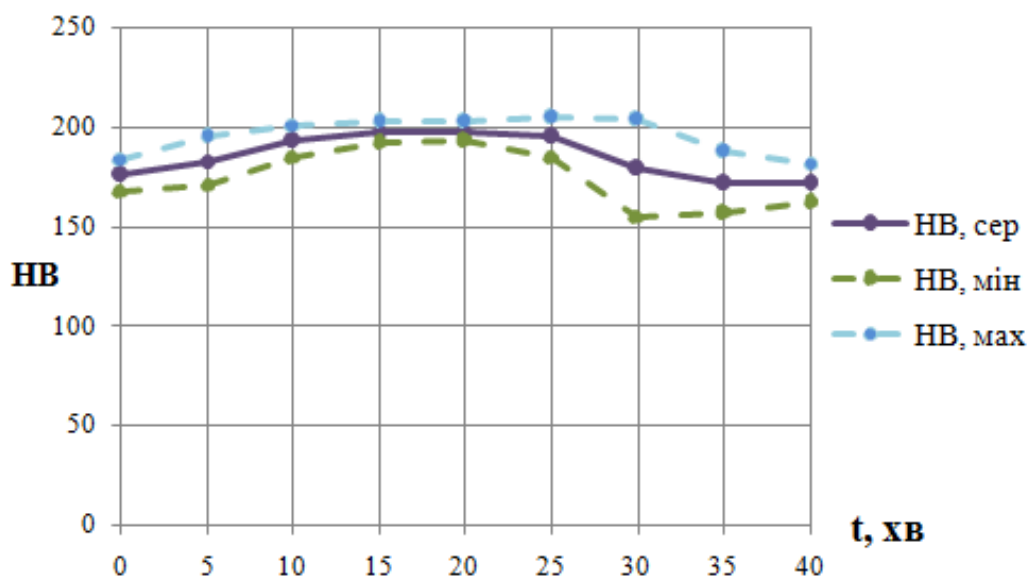


Рис. 4. Результати експериментальних випробувань зразків ПТК текстоліту

У порівнянні з металевими аналогами, вироби з ПТК легші, набагато міцніші, легші і можуть оброблятися без утворення розшарування, тріщин або відколів. Діапазон робочих температур ПТК становить від -50°C до $+110^{\circ}\text{C}$. Розміри зразків $130 \times 100 \times 10$ мм.

В таблиці 3 та на рисунку 5 наведені результати магнітно-резонансної обробки зразків оргскла марки ТОСН, яке являє собою пластифікований полімер метилметакрилату, отриманий методом блокової полімеризації. Діапазон робочих температур ПТК від -40°C до $+95^{\circ}\text{C}$. Розміри зразків $155 \times 155 \times 10$ мм.

Таблиця 3

Результати експериментальних випробувань зразків оргскла ТОСН

t, хв	Середнє НВ	НВ, мін	НВ, макс
0	156	135	178
5	173	154	193
10	180	120	241
15	191	179	202
20	180	144	217
25	185	179	191
30	183	162	203

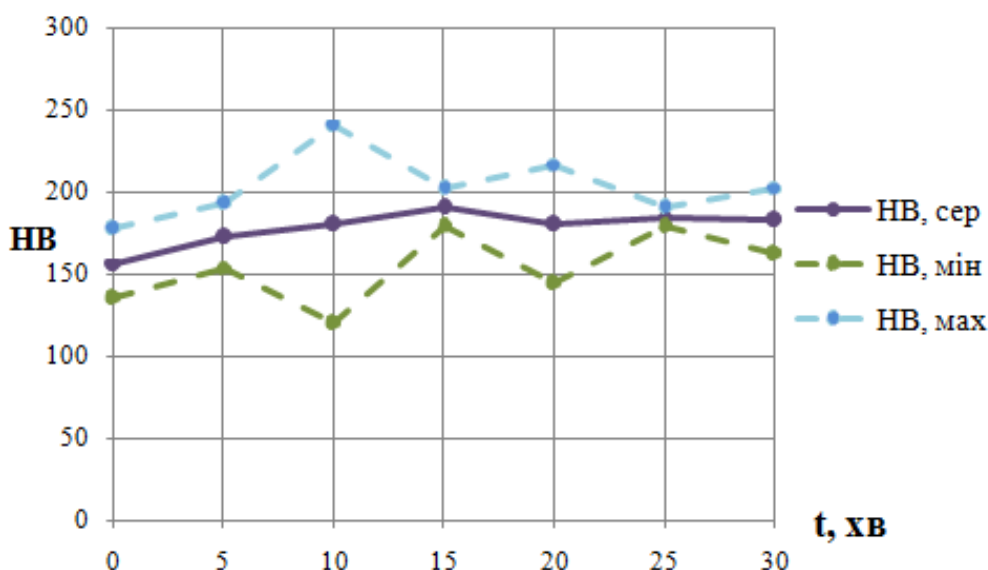


Рис. 5. Результати експериментальних випробувань зразків оргскла ТОСН

Зразки обробляти з інтервалом 5 хв по 10 вимірювань показників твердості HB_{ij} для j -го вимірювання та i -го часового інтервалу зразка за формулою (1):

$$P_{ij} = \frac{HB_{ij}}{\sum_{j=1}^{10} HB_{ij}}; \sum P_{ij} = 1; I_i = \sum_{j=1}^{10} (p_{ij} \cdot \log_2 p_{ij}) \quad (1)$$

де HB_{ij} – значення твердості j -го виміру для i -го інтервалу часу; I_i – показник інформативності в системі "зразок, що обробляється".

Зміна показників інформативності співпадає зі зміною ентропії цієї системи, але з протилежним знаком. Розрахунки за формулою (1) доводять, що процеси зміни показників міцності зразків супроводжуються зменшенням ентропії, тобто зростає впорядкованість об'єкта: відбувається впорядкування доменів, ущільнення дислокацій тощо. Для текстоліту, як і в попередньому дослідженні зразка оргскла, мінімум ентропії відповідає максимальному значенню твердості, яке досягається на 15-20-й хвилині обробки. Підтверджено вплив магнітно-резонансної обробки на зміни, що відбуваються на атомно-молекулярному рівні в полімерних матеріалах.

Висновки. Окрема оптимізація кожної стадії не забезпечує необхідного рівня конкурентоспроможності, оскільки не враховується ефект змін на інших стадіях життєвого циклу. Тому цільова функція процесу повинна виглядати як сума оптимізації кожного етапу з ваговими коефіцієнтами. Важливим є створення універсального комплексного методу управління життєвим циклом.

Обробка деталей за технологічними процесами, що забезпечують оптимізацію життєвого циклу виробів машинобудування, повинна, на нашу думку, здійснюватися на верстатах з паралельною кінематикою, що дозволить знизити собівартість виготовлення, скоротити час обробки і підвищити якість виробів. Тому актуалізується проблема використання розмірного аналізу при проектуванні технологічного процесу та життєвого циклу виробу.

Магнітно-резонансна обробка дозволяє досягти певних змін властивостей матеріалів різної природи – металевих і неметалевих. Про це свідчать зміни міцності зовнішнього шару зразків. Також про технологічний вплив флуктуацій мікроструктурних елементів зразків свідчить ефект зменшення середньоквадратичного відхилення результатів вимірювань міцності зразків в їх різних оброблених поверхнях. Цей показник прийнятно використовувати при аналізі будь-якого технологічного впливу на об'єкт.

Перелік посилань

1. Матвеев, В.В., Тверской, М.М., & Бойков, Ф.И. (1982). *Размерный анализ технологических процессов*. Машиностроение.
2. Васильев, А.С., Дальський, А.М., Золотаревський, Ю.М., & Кондаков, А.И. (2005). *Нормативное формирование состава предприятий машиностроения*. Машинобудування.
3. Масыгін, В.Б. (2004). Метод розрахунку лінійних технологічних показників на основі матричного представлення графу. *Технологія машинобудування*, 2, 35-40.
4. Ковалевський, С.В., Ковалевська, О.С., & Лупа, Ю.В. (2021). Підвищення експлуатаційних характеристик деталей машин на основі комбінованого впливу сильних механічних полів. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету. Технічні науки*, 2, 29-36.
<https://doi.org/10.31319/2519-2884.39.2021.5>
5. Ковалевський, С., & Ковалевська, О. (2021). Нові можливості обробки матеріалів у сильних магнітних полях. *Технічні науки та технології: науковий журнал*, 4 (26), 7-14.
[https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4\(26\)-7-14](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4(26)-7-14)
6. Канг, Ю. (2016). Реакційний процес під дією електромагнітного поля. *Праці Китайського товариства кольорових металів*, 26, 1439-1446.
7. Ромаліс, М.В., & Данг, Х.Б. (2011). Атомні магнітометри для характеристики матеріалів. *Матеріали сьогодні*, 14(6), 258-262.

8. Kovalevskyy, S., & Kovalevska, O. (2022). Identification and Technological Impact of Broadband Vibration on the Object. In V. Tonkonogyi, V. Ivanov, J. Trojanowska, G. Oborskyi, & I. Pavlenko (Eds.), *Advanced Manufacturing Processes III. InterPartner 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering* (pp. 78–87). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4_8
9. Бардадим, Ю. В., & Віленський, В. О. (2016). Структура та фізичні властивості полімерних композитних матеріалів, сформованих у постійних магнітному та електричному полях. *Полімерний журнал*, 38(2), 115-124.
10. Бардадим, Ю., & Спорягін, Є. (2017). Вплив магнітного поля на структуру та властивості епоксикомпозитів. *IX Міжнародна науково-практична конференція "Нанотехнології та наноматеріали" НАНО-2017*, 129.

ABSTRACT

Objective. The aim of the study is to establish the possibility of recognizing the characteristics of the internal state and confirm the influence of atomic or molecular bonds on the change of certain indicators of physical and mechanical properties of non-magnetic metallic (aluminum, copper) and non-metallic (polymeric) materials.

Methods. The research is carried out on the basis of magnetic resonance using neodymium magnets and electric current modulated by white noise signal, as well as with the help of two neodymium magnets.

Results. When using neodymium magnets and electric current modulated by a white noise signal in the range of 15-20000 Hz to create the effect of magnetic resonance for non-magnetic metallic materials, an increase in strength is observed until peak values are reached with a gradual decrease to the average value. The interaction of magnetic fields of neodymium magnet and electric current occurs in the body of samples at subcrystalline and subatomic levels. Therefore, this effect is explained by the fact that as a result of vibrations in the material there is a compaction of dislocations. At the moment of change of rest friction to sliding friction, the dislocation accumulation barrier is destroyed, after which the process is repeated again. When two neodymium magnets are used to create the effect of magnetic resonance for textolite and Plexiglas, i.e. for a group of non-metallic materials, the theory of a simultaneous decrease in entropy in the form of an increase in orderliness, namely the orderliness of domains and compaction of dislocations, with an increase in strength is confirmed. The influence of magnetic resonance treatment on changes occurring at the atomic and molecular level in polymeric materials is confirmed.

Scientific novelty. The established dependences indicate a connection between the strengthening of the material and the improvement of the quality of its structure: ordering of domains and compaction of dislocations created by magnetic resonance.

Practical significance. The obtained data give grounds for the development of a complex method of influence on a number of parameters of physical and mechanical properties using magnetic resonance based on neodymium magnets for influence and the possibility of predicting the life cycle.

Keywords: *life cycle of products, control of material properties, nanoamplitude oscillations, homogeneous magnetic field, resonance of experimental samples, magnetic resonance processing of materials.*