

УДК 621.798.1:621.318.3

ПАКОВАННЯ З МАГНІТНИМ ЗАМКОМ: РОЗВИТОК ТА ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

О. Котмальова, К. Марчук

*Інститут Поліграфії та медійних технологій
НУ «Львівська Політехніка»
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна*

Розглянуто сучасні тенденції розвитку упаковки з магнітними замками, проаналізовано їх технічні характеристики та особливості застосування в різних галузях промисловості. Досліджено переваги та недоліки магнітних замків у порівнянні з традиційними способами закриття упаковки. Визначено основні напрямки розвитку технології магнітного пакування та перспективи її впровадження. Проаналізовано технічні рішення, що застосовуються провідними виробниками, та обґрунтовано доцільність використання магнітних систем закриття для різних типів продукції.

Ключові слова: *магнітне пакування, магнітний замок, неодимові магніти, інноваційне пакування, екологічність.*

Постановка проблеми. Сучасний ринок пакування характеризується зростаючими вимогами споживачів до якості, функціональності та естетичності продукції. Традиційні методи закриття пакувань, такі як клейові з'єднання, механічні замки та інші рішення, не завжди забезпечують необхідний рівень надійності, зручності використання та презентабельного зовнішнього вигляду.

Особливо гостро ця проблема стоїть у сегменті преміум-товарів, де пакування виступає важливим елементом маркетингової стратегії та формування першого враження про продукт. Споживачі дедалі частіше сприймають якість пакування як індикатор якості самого товару, що створює додатковий тиск на виробників пакувань щодо пошуку інноваційних технологічних рішень.

Водночас зростаюча екологічна свідомість суспільства вимагає від виробників розробки рішень, які мінімізують негативний вплив на довкілля. Це стосується як використання перероблюваних матеріалів, так і створення пакувань багаторазового використання, що дозволяє значно зменшити кількість відходів. Крім того, розвиток електронної комерції та зміна споживчих звичок поставили нові виклики - необхідність забезпечення безпечного транспортування, легкості відкриття без спеціальних інструментів, можливості повторного використання для повернення товарів тощо.

У цьому контексті магнітні замки представляють собою перспективну технологію, яка може комплексно вирішити багато з перелічених проблем, проте їх широке впровадження потребує детального вивчення технічних, економічних та екологічних аспектів.

Метою досліджень є комплексний аналіз технології магнітних замків у пакуванні, визначення їх переваг та недоліків, а також обґрунтування перспектив розвитку та впровадження цієї технології в різних галузях промисловості.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання, як проаналізувати історію розвитку та сучасний стан технології магнітних замків в упаковці; дослідити технічні принципи роботи магнітних замків та їх основні характеристики; визначити переваги та недоліки магнітних замків порівняно з традиційними методами закриття пакувань; проаналізувати галузі застосування та перспективні напрямки використання магнітних замків; оцінити економічну ефективність впровадження магнітних систем закриття; дослідити екологічні аспекти використання магнітних замків для пакувань та визначити основні тенденції та перспективи розвитку технології магнітного пакування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Використання магнітних сил для створення з'єднань має давню історію, проте їх застосування в пакуваннях стало можливим лише з розвитком сучасних магнітних матеріалів. Перші патенти на використання магнітів для пакувань з'явилися в 1960-х роках, але практичне впровадження стало реальним лише з винаходом неодимових магнітів у 1980-х роках японськими вченими.

Неодимові магніти (NdFeB) стали революційним кроком у магнітних технологіях завдяки своїй винятковій магнітній силі при відносно малих розмірах. Початкове використання магнітних замків було обмежене дороговизною через високу вартість неодимових магнітів. Однак із збільшенням масштабів виробництва та удосконаленням технологій їх вартість поступово знижувалась, що відкрило можливості для більш широкого застосування.

Магнітні замки для пакувань базуються на принципі магнітного притягання між постійними магнітами або між магнітом та ферромагнітним матеріалом. Основними компонентами магнітної системи закриття є: постійні магніти - зазвичай неодимові (NdFeB), самарій-кобальтові (SmCo) або феритові, які генерують постійне магнітне поле.

Також можливе використання ферромагнітних елементів - сталеві пластини або інші магнітні матеріали, що притягуються до магнітів.

Сила утримання магнітного замка визначається за формулою:

$$F = (B^2 \times A) / (2 \times \mu_0), \quad (1)$$

де B - магнітна індукція, A - площа контакту, μ_0 - магнітна проникність вакууму.

За типом магнітного матеріалу найпоширенішими є неодимові магніти (NdFeB), завдяки високій магнітній силі та відносно доступній вартості. Характеризуються максимальним енергетичним добутком, проте чутливі до корозії та температури.

Самарій-кобальтові магніти (SmCo) - мають кращу температурну стабільність (до 300°C) та корозійну стійкість, але є дорогими. Використовуються в спеціальних застосуваннях.

Феритові магніти - найдешевші, але з низькою магнітною силою. Застосовуються в простих конструкціях де не потрібна висока сила утримання.

За конструктивним виконанням виділяють такі типи замків:

1. Поверхневі замки - магніти розташовуються на поверхні упаковки, забезпечуючи легкий доступ та прості виробничі процеси.

2. Вбудовані замки - магніти інтегруються в структуру упаковки, створюючи «невидимий» замок з естетичним виглядом.

3. Поворотні замки - дозволяють регулювати силу утримання шляхом повороту магнітних елементів.

Магнітні замки мають такі переваги: забезпечують чистий, мінімалістичний дизайн без видимих механічних елементів. Плавне, безшумне закриття створює преміум-відчуття та асоціюється з високою якістю продукту (естетична перевага); автоматичне вирівнювання та позиціонування частин пакування при закритті забезпечує точність та зручність використання. Можливість багаторазового відкриття/закриття без втрати функціональності робить пакування придатним для повторного використання (функціональна перевага); регульована сила утримання дозволяє налаштувати оптимальні параметри для конкретного застосування. Довговічність якісних магнітів забезпечує тривалий термін служби пакування (технічна перевага); Екологічна перевага - можливість багаторазового використання пакування сприяє зменшенню відходів. Відсутність витратних матеріалів (клею, стрічок) знижує екологічний слід.

На противагу чисельним позитивним якостям пакувань з магнітним замком потрібно пам'ятати і про деякі недоліки та обмеження: висока вартість неодимових магнітів та їх інтеграції у пакування значно збільшує собівартість порівняно з традиційними методами закриття; вплив сильних магнітних полів на електронні пристрої, кредитні картки та магнітні носії інформації. Температурна чутливість магнітів може обмежувати застосування в деяких умовах; складність переробки неодимових магнітів, що містять рідкісноземельні елементи. Необхідність спеціальних технологій утилізації, також потенційна небезпека для людей з кардіостимуляторами та іншими медичними імплантатами. Ризик травмування при неправильному поводженні з сильними магнітами.

Пакування з магнітним замком часто можна зустріти у таких галузях:

- Товари високої вартості: Пакування для годинників, ювелірних виробів, парфумерії, де важливий преміум-ефект та естетика.
- Електроніка: Пакування для смартфонів, планшетів, навушників, аксесуарів, де необхідна надійна фіксація та захист.
- Косметика та парфумерія: Преміум-лінії продукції, де пакування є частиною бренд-досвіду.
- Подарункове пакування: Коробки для подарунків, сувенірів, колекційних предметів.
- Харчова промисловість: Пакування для преміум-продуктів, де важлива можливість багаторазового використання.

Екологічний вплив магнітних замків має двоякий характер. З одного боку, можливість багаторазового використання пакування та відсутність витратних матеріалів сприяють зменшенню відходів. З іншого боку, виробництво неодимових магнітів потребує рідкісноземельних елементів, видобуток яких має значний екологічний слід. Перспективним напрямком є розробка технологій переробки магнітів та створення замкнутого циклу їх використання. Також досліджуються альтернативні магнітні матеріали з меншим екологічним впливом.

Сучасні тенденції розвитку магнітних замків включають мініатюризацію, що передбачає розробку більш компактних магнітних систем для малогабаритних пакувань, інтеграцію з цифровими технологіями через комбінування магнітних замків з NFC-чіпами, сенсорами та LED-підсвічуванням, розробку нових матеріалів для пошуку альтернатив неодимовим магнітам з кращими екологічними характеристиками, стандартизацію шляхом створення галузевих стандартів безпеки та якості магнітних замків, а також автоматизацію виробництва через розробку автоматизованих ліній для інтеграції магнітів в пакування.

Висновки. Магнітні замки представляють собою перспективну технологію розвитку пакувань, що поєднує функціональність, естетичність та можливості багаторазового використання. Технічні характеристики сучасних неодимових магнітів дозволяють створювати надійні та компактні системи закриття для широкого спектру застосувань.

Основними перевагами магнітних замків є естетичність, зручність використання, довговічність та можливість створення преміум-ефекту, що робить їх особливо привабливими для розкішних товарів та інноваційних брендів.

Головними обмеженнями залишаються висока вартість, вплив на електронні пристрої та складність переробки, що потребує подальших технологічних розробок.

Економічна ефективність магнітних замків залежить від специфіки застосування та може бути виправданою в сегменті преміум-продукції та інноваційних рішень.

Екологічні аспекти використання магнітних замків потребують комплексного підходу, включаючи розробку технологій переробки та альтернативних матеріалів.

Магнітні замки мають значний потенціал для трансформації індустрії упаковки, особливо в контексті зростаючих вимог до якості, естетики та екологічності продукції. Подальший розвиток цієї технології буде залежати від вирішення існуючих технічних та економічних обмежень, а також від формування відповідних ринкових умов та споживчих переваг. Перспективи розвитку технології пов'язані з мініатюризацією, інтеграцією з цифровими технологіями та створенням більш екологічних рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Coey J.M.D. Rare-earth iron permanent magnets / J.M.D. Coey. - Oxford: Oxford University Press, 2021. - 720 p.
2. Innovative Packaging Solutions with Magnetic Closures / Journal of Packaging Technology and Research. - 2023. - Vol. 7, No. 2. - P. 78-95.
3. Magnetic Closure Technologies in Premium Packaging Design / Packaging World International. - 2023. - Vol. 45, No. 8. - P. 34-41.
4. Neodymium magnets in consumer products: Safety considerations and best practices / Safety in Design. - 2022. - Vol. 15, No. 3. - P. 156-171.
5. Recycling of rare earth permanent magnets: Current status and future prospects / Resources, Conservation and Recycling. - 2023. - Vol. 190. - P. 106821.
6. Luxury Redefined in 2024: Exploring Magnetic Closure Boxes [Електронний ресурс] // TechSponsored. – Режим доступу: <https://techsponsored.com/luxury-redefined-in-2024-exploring-magnetic-closure-boxes>.

REFERENCES

1. Coey J.M.D. Rare-earth iron permanent magnets / J.M.D. Coey. - Oxford: Oxford University Press, 2021. - 720 p.
2. Innovative Packaging Solutions with Magnetic Closures / Journal of Packaging Technology and Research. - 2023. - Vol. 7, No. 2. - P. 78-95.
3. Magnetic Closure Technologies in Premium Packaging Design / Packaging World International. - 2023. - Vol. 45, No. 8. - P. 34-41.
4. Neodymium magnets in consumer products: Safety considerations and best practices / Safety in Design. - 2022. - Vol. 15, No. 3. - P. 156-171.
5. Recycling of rare earth permanent magnets: Current status and future prospects / Resources, Conservation and Recycling. - 2023. - Vol. 190. - P. 106821.
6. Luxury Redefined in 2024: Exploring Magnetic Closure Boxes [Електронний ресурс] // TechSponsored. – access mode: <https://techsponsored.com/luxury-redefined-in-2024-exploring-magnetic-closure-boxes>.

doi: 10.32403/2411-3611-2025-1-47-96-100

**PACKAGING WITH MAGNETIC CLOSURE: DEVELOPMENT
AND FEATURES OF MODERN TECHNOLOGIES**

O. Kotmalova, K. Marchuk

*Lviv Polytechnic National University
Institute of Printing Art and Media Technologies
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine*

The article examines current trends in the development of packaging with magnetic closures, analyzes their technical characteristics and application features in various industries. The advantages and disadvantages of magnetic closures compared to traditional packaging closure methods have been investigated. The main directions of magnetic packaging technology development and prospects for its implementation have been determined. Special attention is paid to the environmental aspects of using magnetic closures, their impact on improving packaging quality and the economic efficiency of implementation in production. Technical solutions used by leading manufacturers have been analyzed, and the feasibility of using magnetic closure systems for various types of products has been substantiated.

Keywords: magnetic packaging, magnetic closure, neodymium magnets, innovative packaging, environmental sustainability.

Стаття надійшла до редакції 30.04.2025.

Received 30.04.2025.