

Аналіз сучасної літератури, показує те, що постійні магніти в стоматології застосовують в лікувальних цілях (магнітотерапія), вони допомагають зменшити запалення, зняти біль, покращити регенерацію тканин після операцій. Також їх використовують і в ортопедичних конструкціях для надійного утримання знімних протезів у порожнині рота завдяки силі притягання. Тому зацікавленість в даній темі у науковців збільшується. Мета дослідження є підвищення ефективності протезування хворих, шляхом поглиблення знань з магнітних властивостей матеріалів та магнітних методів фіксації зубних протезів. У стоматології використовувалось багато різноманітних матеріалів, методів та технологій для виготовлення магнітів. Деякі з них не використовуються, тому, що вони не знайшли широкого використання в практиці із за наявних недоліків, інші залишаються зі своїми плюсами та мінусами в стоматологічній практиці. У сучасній стоматології для виготовлення магнітів використовують різноманітні матеріали. Це альніко, ферити, сплави самарій-кобальту, неодим-залізо-бору, залізо-хром-кобальту, а також матеріали в вигляді суміші магнітного порошку та будь-якого зв'язуючого компоненту. В якості зв'язуючого матеріалу можуть виступати каучук, пластик і матеріали на основі епоксидної смоли. Кожний із вищезгаданих матеріалів мають і переваги, і недоліки. Властивість феромагнетичних матеріалів є основою при виготовленні магнітів. Неодимові та самарій-кобальтові магніти можуть використовуватись в ортопедичній стоматології, як фіксуючі пристрої для протезів. Неодимові магніти – це універсальне рішення для фіксації зубних протезів. Завдяки використанню сучасних технологій ці магніти мають вражаючу потужність у маленькому розмірі. Надійне покриття гарантує довготривалу службу без втрати фізичних та магнітних властивостей.

Ключові слова: постійні магніти, внутрішньо-кореневі магніти, температура Кюрі, магніти в стоматології.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Робота є фрагментом НДР «Індивідуальний підхід до реабілітації пацієнтів з патологією зубо-щелепної системи» (номер державної реєстрації 0122U002533).

Вступ.

Постійний магніт – це виріб із феромагнітного матеріалу, який зберігає залишкову намагніченість і створює магнітне поле тривалий час без зовнішнього живлення.

Постійні магніти в стоматології використовуються як у лікувальних цілях (магнітотерапія), так і в ортопедичних конструкціях для фіксації протезів. Вони допомагають зменшити запалення, зняти біль, покращити регенерацію тканин після операцій, а також забезпечують надійне утримання знімних протезів у порожнині рота завдяки силі притягання. Останнім часом у фахівців збільшилась зацікавленість до використання магнітної фіксації зубних протезів [1–12].

Сучасні матеріали для магнітів повинні відповідати вимогам для кожного конкретного виробу. Щоб зрозуміти, який матеріал потрібен для того чи іншого магніту, новатору, фахівцю, досліднику необхідно володіти певною кількістю знань, яка недостатньо висвітлена у вітчизняних наукових джерелах, в яких вказуються здебільшого тільки такі параметри, як коерцитивна сила (*фактор стабільності постійних магнітів*) та назва магнітного матеріалу. Тому, пошук і надання інформації для обґрунтованого вибору магнітної фіксації зубних протезів, вважаємо доречним і актуальним.

Мета дослідження.

Підвищення ефективності протезування хворих, шляхом поглиблення знань з магнітних властивостей

матеріалів та магнітних методів фіксації зубних протезів.

Об'єкт і методи дослідження.

Пошук та аналіз літературних та наукових джерел інформації для розширення знань із застосування магнітних пристроїв.

Основна частина.

Всі магнітні фіксатори можна розділити на три великі групи:

- міждщелепні відштовхуючі магніти внутрішньорізцевого розташування;
- однощелепні притягуючі магнітні імпланти;
- внутрішньо-кореневі магнітні притягуючі фіксатори.

У сучасній стоматології все більшу популярність набуває використання магнітів у знімних зубних протезах.

При застосуванні оклюзійних магнітних фіксаторів в телескопічному з'єднанні, покривних протезах та імплантатах забезпечувалося тільки дві функції виготовленим протезам:

- опорну;
- ретенційну (утримуючу) [5, 6, 9, 13, 14].

Як зазначається в літературних джерелах, використання, так званих, горизонтальних (оклюзійних) магнітних фіксаторів мали також і переваги:

- постійна ретенція;
- осьове навантаження;
- активація не є необхідною;
- не потрібна співвісність опор;
- нескладна гігієни порожнини рота

За багато років було запропоновано велику кількість різноманітних матеріалів, методів, технологій для її вирішення. Частина з них – не знайшла практич-

ного використання зважаючи на їх неефективність, інша – залишається зі своїми плюсами та мінусами в стоматологічній практиці.

Сьогодні для виготовлення магнітів використовують різноманітні матеріали. Це альніко, ферити, сплави самарій-кобальту, неодим-залізо-бору, залізо-хром-кобальту, а також матеріали в вигляді суміші магнітного порошку та будь-якого зв'язуючого компоненту. В якості зв'язуючого матеріалу можуть виступати каучук, пластик і матеріали на основі епоксидної смоли. Кожний із вищезгаданих матеріалів мають і переваги, і недоліки. Властивість феромагнетичних матеріалів є основою при виготовленні магнітів.

Основні властивості постійних магнітів:

- магнітна дія постійного магніту є різною на різних ділянках його поверхні, ті ділянки поверхні магніту, де магнітна дія виявляється найсильніше, називають полюсами магніту;
- магнітна дія магніту найсильніше виявляється поблизу його полюсів;
- магніт має північний N та південний полюси S;
- однойменні полюси магнітів відштовхуються, а різнойменні притягуються;
- неможливо отримати магніт тільки з одним полюсом;
- у разі нагрівання постійного магніту до певної температури (точка Кюрі) його магнітні властивості зникають [15–21].

Експериментально-лабораторні дослідження магнітів

При проведенні експериментально-лабораторних досліджень магнітів різних форм, намагніченості та матеріалів, нами було встановлено мало-відомий факт – самоцентрування магнітних пар, або «властивість повертатися у висхідне положення після припинення дії зовнішньої сили», або «ефект магнітної пам'яті розташування». На підставі встановленого факту нами запропонована нова концепція магнітної фіксації в стоматології [22–24].

В результаті згаданих досліджень встановлено також, що функціональність фіксації зубних протезів залежить від магнітних складових(пар) за такими параметрами:

- намагнічуваності;
- розміру (площі, об'єму);
- коерцитивної сили;
- топографічного розміщення;
- геометричної форми;
- поєднанні геометричних форм;
- відстані магнітної пари (міжмагнітний простір);
- напрямку намагніченості;
- магнітного матеріалу;

урівноваженості магнітного поля між магнітними парами.

Якщо ви хочете уникнути дорогих помилок і обрати ідеальний магніт для ваших конкретних потреб, ця інформація для вас.

1. Магніти Альніко – це постійні магніти на основі Al, Ni та Co.

Основними перевагами альніко магнітів є висока температуро-стійкість та чудова стійкість до корозії. У нього може бути дуже велика залишкова намагніченість Br, яка змінюється від 6700 до 13500 Г. Температура, при якій матеріал повністю втрачає свої магнітні властивості (Температура Кюрі) в цього матеріалу

840*С, температурна стабільність даного матеріалу дуже висока. Температурний коефіцієнт індукції складає 0,02 (%/°С), менше ніж у багато інших доступних матеріалів. Другою важливою властивістю альніко є можливість формування в матеріалі магнітного поля великої кривизни. Знаменита форма Альніко – форма підкови, це викривлений магніт із північним і південним полюсами, вирівняними так, що вони можуть, наприклад, піднімати сталевий стрижень.

Із недоліків потрібно відзначити, що Альніко дуже жорсткий і крихкий матеріал. Він може бути оброблений лише поліруванням, шліфуванням або електроерозивною обробкою. Це створює труднощі при використанні в складі виробу. Також в Альніко низька коерцитивна сила, яка вимірюється в межах 0,64–0,9 кЭ.

2. Ферити (ферити барію, кобальта, стронцію.)

Самий менш вартісний магнітний матеріал на сьогодні – ферит (кераміка). У цього матеріалу помірно високі значення Hcb s Hci (від 2,500 до 4,000 G), що значно вище ніж у Альніко. Його електричний опір також дуже високий. Керамічні матеріали зазвичай є діелектриками, тоді як практично всі магнітні матеріали мають помірну електричну провідність.

До недоліків феритових матеріалів можна віднести більш низьку температуру Кюрі (близько 450°С), а також низьку температурну стабільність. Температурний коефіцієнт феритових матеріалів складає 0,2 (%/°С), тобто вони в 10 разів менш стабільні, ніж Альніко (–0,02 (%/°С)). Головна перевага феритів це їх низька ціна. Але не слід також забувати про високу хімічну стабільність до окислення, що дозволяє феритам зберігати свої властивості та зовнішній вигляд без всякого покриття протягом десятиліть.

3. Магніти самарій кобальт (SmCo)

Самарій-кобальтові (SmCo) магніти – це потужні рідкоземельні магніти, що складаються зі сплаву самарію та кобальту. Вони займають друге місце за потужністю після неодимових, вирізняючись надзвичайною термостійкістю, стійкістю до корозії та високою коерцитивною силою.

Крім того, самарій-кобальтові рідкоземельні магніти мають високу магнітну стабільність, що означає меншу ймовірність розмагнічування з часом. Це робить їх ідеальними для використання там, де потрібен надійний і довговічний магніт.

Крім того, самарій-кобальтові магніти мають високу енергетичну продуктивність, що означає, що вони можуть створювати сильні магнітні поля навіть при відносно невеликих обсягах (розмірів). Це робить їх ідеальними для використання в невеликих і компактних пристроях.

Останнім часом поширилося застосування самарій-кобальтових магнітів у знімному та незнімному протезуванні порожнини рота. Енергія магнітного поля цього матеріалу видалася більш високою ніж у Альніко, а температурна стабільність – відмінною. У цей же час, це найдорожчий, із тих що є, магнітних матеріалів. Гідністю магнітів SmCo є висока залишкова намагніченість Br (11,5 кГ), коерцитивна сила Hci від 5,5 до 25 кЭ) і висока температура Кюрі (**табл. 1**).

Недоліком магнітів SmCo є їх висока крихкість і висока ціна обумовлена використанням в ньому дорогих рідкоземельних металів. До речі, технологія очистки самарію достатньо затратна, як і кобальту.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика властивостей самарій-кобальтових магнітів

Серії	Клас	Залишкова індукція/ BR (Гаусс)	Коерцитивна сила/ Hc (Oe)	Макс. енергетичний продукт/ Bhmax (MGOe)	Максимальна робоча температура (°C/°F)
Sm1Co5	16	8100	7800	16	127/260
Sm1Co5	18	8500	8300	18	143/289
Sm1Co5	20	9000	8500	20	167/332
Sm1Co5	22	9200	8900	22	175/347
Sm1Co5	24	9600	9200	24	190/374
Sm1Co5	16S	7900	7700	17	135/275
Sm1Co5	18S	8400	8100	19	151/303
Sm1Co5	20S	8900	8600	21	167/332
Sm1Co5	22S	9200	8900	23	183/361
Sm1Co5	24S	9600	9300	25	199/390
Sm1Co5	10X	6200	6100	11	88/190
Sm2Co17	24L	9500	6800	24	191/375
Sm2Co17	26L	10200	6800	26	207/404
Sm2Co17	28L	10500	6800	28	220/428
Sm2Co17	30L	10800	6800	30	240/464
Sm2Co17	32L	11000	6800	32	255/491
Sm2Co17	26M	10200	8500	26	207/404
Sm2Co17	28M	10500	8500	28	220/428
Sm2Co17	30M	10800	8500	30	240/464
Sm2Co17	32M	11000	8500	32	255/491
Sm2Co17	24	9500	8700	24	191/375
Sm2Co17	26	10200	9400	26	207/404
Sm2Co17	28	10500	9700	28	220/428
Sm2Co17	30	10800	9900	30	240/464
Sm2Co17	32	11000	10200	32	255/491
Sm2Co17	24H	9500	8700	24	191/375
Sm2Co17	26H	10200	9400	26	207/404
Sm2Co17	28H	10500	9700	28	220/428
Sm2Co17	30H	10800	9900	30	240/464
Sm2Co17	32H	11000	10200	32	255/491
Sm2Co17	22X	9400	8400	22	175/347

Маркування самарій-кобальтових (SmCo) магнітів базується на їхньому хімічному складі та максимальному енергетичному продукті (BH) $_{max}$, зазвичай розділяючись на дві основні серії: **SmCo1:5** (менш потужні) та **SmCo2:17** (більш потужні) і має меншу вартість через те, що в ньому невелика частина кобальту заміщена залізом а вміст самарію менше ніж у чистому сплаві 1;5. Цифри у маркуванні (наприклад, SmCo 22, 24, 26, 28) вказують на значення (BH) $_{max}$ у мегагаус-ерстедах (MGOe).

4. Неодимові магніти – неодим, залізо, бор (NdFeB)

Виробники стали шукати магнітний матеріал, який мав би таку ж магнітну енергію як SmCo, але мав суттєво більш низьку вартість. Отже, неодимовий магніт – це сплав рідкоземельних елементів неодим, залізо і бор представлений формулою (Nd₂Fe₁₄B).

Відносно низький вміст рідкісноземельних елементів (12% за об'ємом, 26,7% за масою) роблять неодимові магніти дешевшими за інший важливий тип рідкісноземельних магнітів – самарій-кобальтові.

Було встановлено, що у сплавів NdFeB дуже велике енергетичне відтворення – аж до 50-55 MGOe – при значно меншій вартості ніж ціна SmCo. Наукові дослідження нового магнітного матеріалу неодим-залізо-бор (NdFeB) – почалося з 80-х років провідного століття, а його широке використання в промисловості – з 1984 року. Магніти NdFeB мають широкий діапазон робочих температур (від –40°C до

+150°C), деякі їх види можна використовувати і до 200°C. Температурна стабільність магнітів NdFeB не менше, ніж у магнітів SmCo, їх температурний коефіцієнт магнітної індукції змінюється від 0,07 до 0,13 (%/°C) (для порівняння 0,035 (%/°C) у SmCo). Внаслідок цього при температурах більше 180°C магніти SmCo можуть створювати великі значення магнітного поля, ніж магніти NdFeB. NdFeB має низьку температуру Кюрі – приблизно 310°C, яка може бути підвищена додаванням кобальту. Але, використання кобальту веде до здорожчання матеріалу. Відомий своєю потужністю притягання і високою стійкістю до розмагнічування. Має металевий зовнішній вигляд, дуже часто застосовується в різних галузях промисловості, медицини, в побуті й електроніці.

Магніти NdFeB можуть виготовлятися присадками із різноманітних матеріалів, такими як диспрозій, кобальт, ніобій, ванадій, галій і т.д., що веде до покращення стабільності магніту за температурною і корозійною точок зору. Ці модифіковані магніти можуть бути використані до температур +220°C. Неодимові магніти втрачають не більше 1-2% своєї намагніченості за 10 років. Проте їх можна легко розмагнітити, нагрівши до температури +70°C і більше [25].

Намагніченість неодимових магнітів

Розрізняють три види намагніченості: аксіальна (рис. 1), діаметральна (рис. 2) та радіальна (рис. 3), а також напрямки дії магнітів (рис. 4).

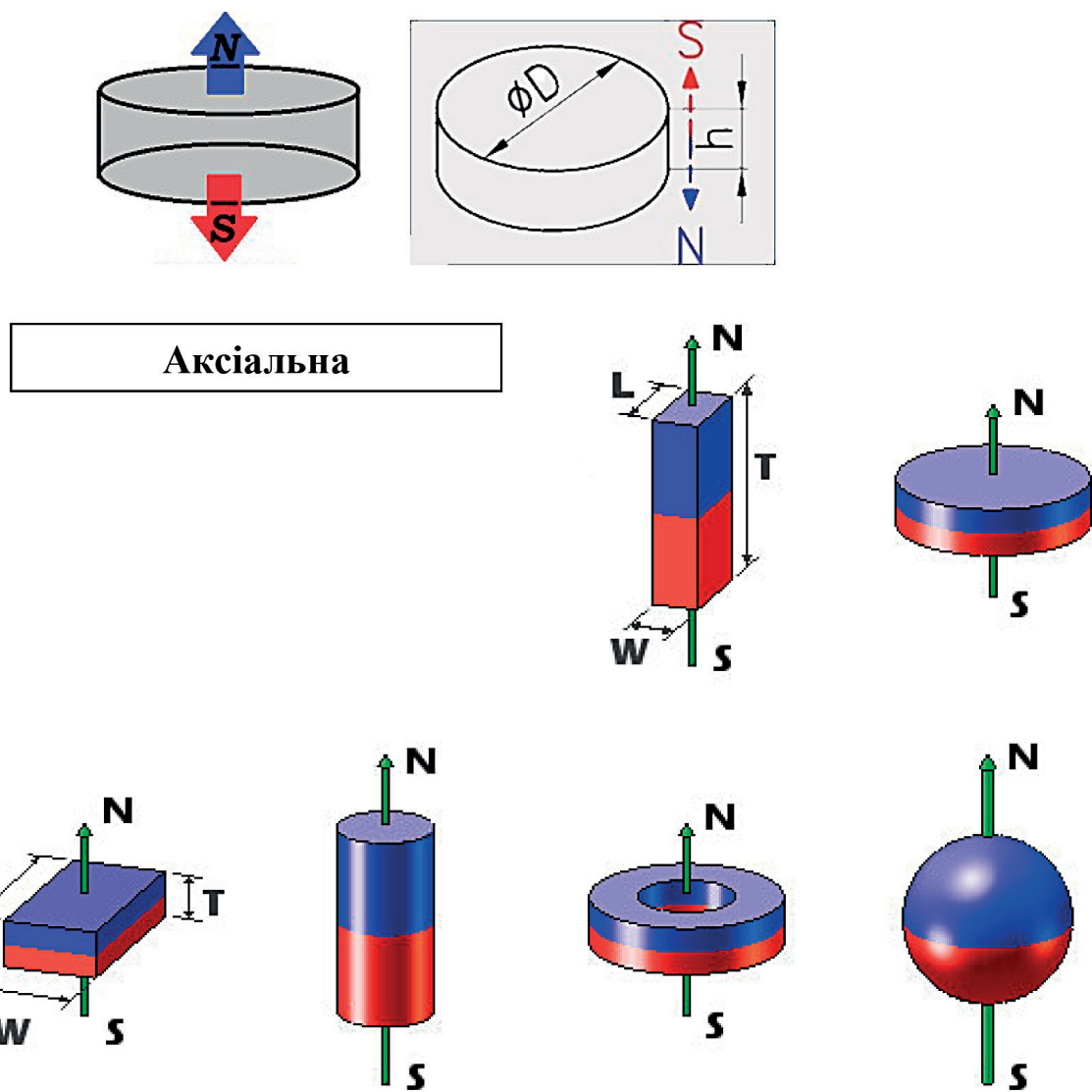


Рисунок 1 – Варіанти аксіальної намагніченості.

Аксіальна намагніченість – це означає, що напрям магнітного поля проходить по центру магніту по висоті і має північ угорі, а знизу південь. Це один з найбільш розповсюджених видів, зустрічається на магнітах у вигляді дисків, кубів, паралелепіпедів, циліндрів, кілець та інших форм.

Діаметральна намагніченість – це вектор намагніченості спрямований вздовж діаметру магніта, ін-

шими словами північ і південь знаходяться з боків з протилежних сторін. За формами магніту, це можуть бути диски, паралелепіпеди, циліндри, куби, шайби, інші різновиди.

Радіальна намагніченість – це напрям вектора від краю магніту до його центру по радіусу, тобто в центрі південь, а з боків північ. В основному таку на-

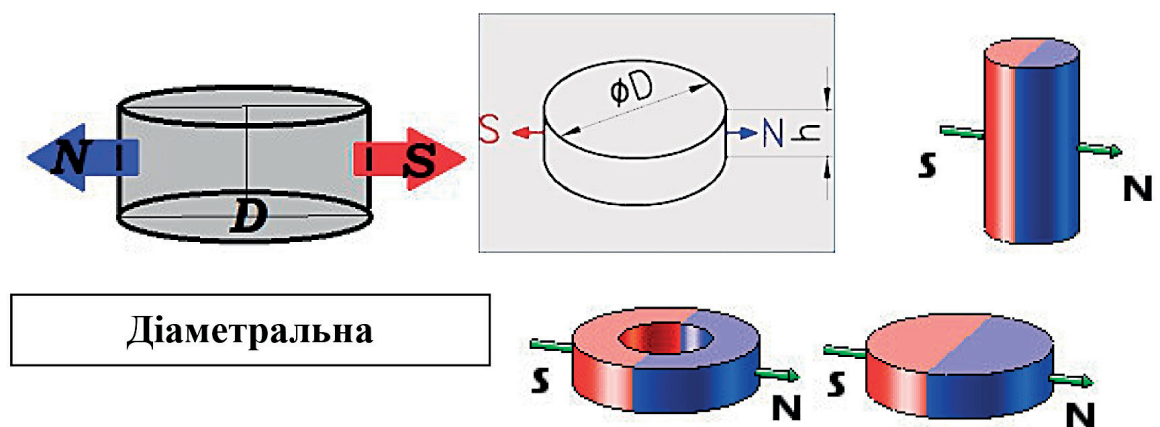


Рисунок 2 – Варіанти діаметральної намагніченості.

магніченість мають кільця, магніти з потаєм, але можуть бути і диски, циліндри, шайби.

Неодимові магніти втрачають свою намагніченість 1–2% за 10 років.

Маркування неодимових магнітів

Всі неодимові магніти розділяються на декілька класів і позначаються буквою яка відповідає за робочу температуру та цифрою, яка містить інформацію про належність магніту до певної марки. В цих номенклатурних значеннях відображена вся основна інформація, знаючи яку буде нескладно вибрати необхідний магніт.

У таблиці 2 всі чисельні величини представлені у двох системах, перша система СИ (міжнародна система вимірювань сучасна), і в дужках СГСЕ (система вимірювань, яка використовувалася до прийняття системи СИ).

Для кращого розуміння характеристик магнітів, вивчення таблиці доцільно починати справа на ліво. У 5 стовпці – показник робочої температури, при підвищенні якої неодимовий сплав втрачає магнітні властивості. Температурний діапазон позначається англійською літерою, яку можна побачити в першому стовпці. Таке маркування має наступне значення:

N (Normal) – допустима температура використання знаходиться в межах до 80°C.

M (Medium) – магніт має робочий діапазон температур, не перевищуючи 100°C.

H (High) – неодимовий сплав може експлуатуватися при температурі до 120°C.

SH (Super High) – робочий діапазон температурних значень знаходиться в межах до 150°C.

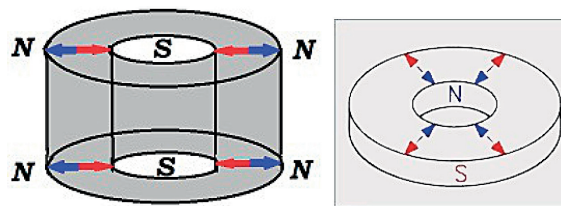
UH (Ultra High) – магнітні властивості будуть незмінні при температурі не більше 180°C.

EH (Extra High) – максимальна робоча температура до 200°C.

Від’ємні значення температури не впливають на стабільність магнітного поля.

У 2 стовпці номенклатурних значень знаходяться цифрові показники класу магніту. У цьому полі вказана магнітна енергія, яку можливо охарактеризувати як зусилля на відрив. Тобто, зусилля яке треба прикласти, щоб від’єднати його від робочої поверхні. Чим більше буде значення у цьому стовпці, тим вища відповідно і потужність магніту.

Для здійснення розрахунків найбільш зручна метрика, в якій зусилля приведено в кілограмах. 1 Джоуль на метр кубічний, рівняється 0,1 кг/ сили. Ця складова напряму залежить від габаритів магніту. Чим більша його поверхня, тим вищі будуть і характеристики магнітного поля.



Радіальна

Рисунок 3 – Варіанти радіальної намагніченості.

Третій стовпець коерцитивна сила – це величина магнітного поля, в яку необхідно помістити магніт для його розмагнічування. Дуже важливо знати при використанні виробу поруч з більш потужними електромагнітами. колонці вказані технічні значення залишкової індукції.

Четвертий стовпець залишкова магнітна індукція – показує величину індукції матеріалу після повного його насичення шляхом підвищення напруженості магнітного поля.

Перший стовпець це маркування неодимових магнітів.

Що стосується цифр, є таблиця 2.

Приклад. Порівняння потужності магнітів.

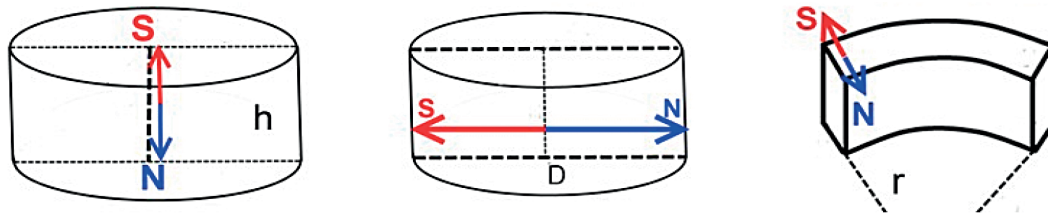
Для проведення подібних досліджень потрібно виконати такі розрахунки:

Потрібно окремо вписати показники залишкової індукції кожного із магнітів. Ці дані необхідно взяти із 4 стовпця таблиці 2. Потім поділити більше значення на менше. Для прикладу, візьмемо неодимовий магніт №45 із значенням індукції 1320 мТ і магніт №35 із індукцією 1170 мТ. У результаті розрахунків ми одержимо значення 1320/1170=1,128. Ці показники визначають, що неодимовий магніт №45 на 12,8% потужніший №35, при умові однакових їх розмірів.

При виборі потрібного вам магніту необхідно орієнтуватися на їх ключові магнітні властивості:

● **Максимальний енергетичний продукт або Магнітна енергія (BHmax):** Вимірюється в Мега Гаус Оерстед (MGOe), BHmax Відображає накопичену енергію магніту – чим вище значення, тим сильніший магніт. Магніти NdFeB зазвичай мають діапазон від 33 до 55 MGOe,

● **Щільність магнітного потоку (B):** Відображає концентрацію магнітних ліній сили, зазвичай вимірюється в Гаусах або Теслах. Вищий рівень магнітного потоку означає сильніше магнітне поле. Дає можливість мати менші за розміром магніти з їх максимальною енергією. Щільність потоку в кА/м чи Гаус (1 Тесла = 10 000 Гаусів).



Аксіальне

Вздовж товщини (розмір h)

Діаметральне

Вздовж діаметра (розмір D)

Радіальне

До центру радіуса (розмір r)

Рисунок 4 – Напрямки намагніченості.

Таблиця 2 – Таблиця значень неодимових магнітів

Клас	Магнітна енергія, кілоджоулі/м ³ (МегаГаусс-Ерстед)	Коерцитивна сила, Кілоампер/метр (КілоЭрстед)	Залишкова магнітна індукція, мілітесла (КілоГаусс)	Робоча температура, градус Цельсія
N35	263–287 (33–36)	≥955 (≥12)	1170–1220 (11,7–12,2)	80
N38	287–310 (36–39)	≥955 (≥12)	1220–1250 (12,2–12,5)	80
N40	302–326 (38–41)	≥955 (≥12)	1250–1280 (12,5–12,8)	80
N42	318–342 (40–43)	≥955 (≥12)	1280–1320 (12,8–13,2)	80
N45	342–366 (43–46)	≥955 (≥12)	1320–1380 (13,2–13,8)	80
N48	366–390 (46–49)	≥876 (≥12)	1380–1420 (13,8–14,2)	80
N50	382–406 (48–51)	≥876 (≥11)	1400–1450 (14,0–14,5)	60
N52	398–422 (50–53)	≥876 (≥11)	1430–1480 (14,3–14,8)	60
33M	247–263 (31–33)	≥1114 (≥14)	1130–1170 (11,3–11,7)	100
35M	263–287 (33–36)	≥1114 (≥14)	1170–1220 (11,7–12,2)	100
38M	287–310 (36–39)	≥1114 (≥14)	1220–1250 (12,2–12,5)	100
40M	302–326 (38–41)	≥1114 (≥14)	1250–1280 (12,5–12,8)	100
42M	318–342 (40–43)	≥1114 (≥14)	1280–1320 (12,8–13,2)	100
45M	342–366 (43–46)	≥1114 (≥14)	1320–1380 (13,2–13,8)	100
48M	366–390 (46–49)	≥1114 (≥14)	1380–1420 (13,8–14,3)	100
50M	382–406 (48–51)	≥1114 (≥14)	1400–1450 (14,0–14,5)	100
30H	223–247 (28–31)	≥1353 (≥17)	1080–1130 (10,8–11,3)	120
33H	247–271 (31–34)	≥1353 (≥17)	1130–1170 (11,3–11,7)	120
35H	263–287 (33–36)	≥1353 (≥17)	1170–1220 (11,7–12,2)	120
38H	287–310 (36–39)	≥1353 (≥17)	1220–1250 (12,2–12,5)	120
40H	302–326 (38–41)	≥1353 (≥17)	1250–1280 (12,5–12,8)	120
42H	318–342 (40–43)	≥1353 (≥17)	1280–1320 (12,8–13,2)	120
45H	326–358 (43–46)	≥1353 (≥17)	1320–1380 (13,2–13,8)	120
48H	366–390 (46–49)	≥1353 (≥17)	1380–1420 (13,8–14,3)	120
30SH	233–247 (28–31)	≥1592 (≥20)	1080–1130 (10,8–11,3)	150
33SH	247–271 (31–34)	≥1592 (≥20)	1130–1170 (11,3–11,7)	150
35SH	263–287 (33–36)	≥1592 (≥20)	1170–1220 (11,7–12,2)	150
38SH	287–310 (36–39)	≥1592 (≥20)	1220–1250 (12,2–12,5)	150
40SH	302–326 (38–41)	≥1592 (≥20)	1240–1280 (12,4–12,8)	150
42SH	318–342 (40–43)	≥1592 (≥20)	1280–1320 (12,8–13,2)	150
45SH	342–366 (43–46)	≥1592 (≥20)	1320–1380 (13,2–13,8)	150
28UH	207–231 (26–29)	≥1990 (≥25)	1020–1080 (10,2–10,8)	180
30UH	223–247 (28–31)	≥1990 (≥25)	1080–1130 (10,8–11,3)	180
33UH	247–271 (31–34)	≥1990 (≥25)	1130–1170 (11,3–11,7)	180
35UH	263–287 (33–36)	≥1990 (≥25)	1180–1220 (11,7–12,2)	180
38UH	287–310 (36–39)	≥1990 (≥25)	1220–1250 (12,2–12,5)	180
40UH	302–326 (38–41)	≥1990 (≥25)	1240–1280 (12,4–12,8)	180
28EH	207–231 (26–29)	≥2388 (≥30)	1040–1090 (10,4–10,9)	200
30EH	233–247 (28–31)	≥2388 (≥30)	1080–1130 (10,8–11,3)	200
33EH	247–271 (31–34)	≥2388 (≥30)	1130–1170 (11,3–11,7)	200
35EH	263–287 (33–36)	≥2388 (≥30)	1170–1220 (11,7–12,2)	200
38EH	287–310 (36–39)	≥2388 (≥30)	1220–1250 (12,2–12,5)	200

• **Коерцивність (H_c):** у кА/м показує, наскільки добре магніт зберігає свої властивості під зовнішніми впливами.

Типові значення для магнітів NdFeB наведено у таблиці 3.

Розуміння цих властивостей допомагає з'ясувати, чому магніти NdFeB перевершують багато інших типів за силою та надійністю. Баланс між високим ВН_{max}, сильною коерцивністю та високою щільністю магнітного потоку робить магніти NdFeB пріоритетним вибором, коли необхідна максимальна магнітна сила.

На силу магнітів NdFeB впливають кілька факторів, тому важливо їх розуміти при виборі магніту для вашого застосування.

Магніти NdFeB мають ряд класів, які головним чином відрізняються за магнітною силою та температурною толерантністю, окрім цього нижчі класи, такі

як N35 або N38, забезпечують міцність за більш доступною ціною.

Розмір і форма магніту впливають на його загальну магнітну продуктивність. Більші магніти зазвичай утримують більше магнітного потоку.

Магніти NdFeB можуть втрачати силу при високих температурах. Їхня температура Кюрі (зазвичай 310–400°C) позначає точку, де магніт втрачає весь магнетизм. Навіть нижче цієї температури тепло може спричинити часткову демагнітацію, особливо якщо коерцивність магніту недостатньо висока.

Магніти NdFeB схильні до корозії, що може зменшити їхню продуктивність з часом. Захисні покриття, такі як нікель, епоксид або цинк, захищають магніти від вологи та хімікатів, допомагаючи зберегти їхню магнітну силу.

Розуміння цих факторів допомагає у виборі правильного класу магнітів NdFeB, а це означає балансування між вимогами до сили, температурними обмеженнями та вартістю.

Що стосується сили, магніти NdFeB виділяються як найпотужніші серед поширених рідкоземельних магнітів. Ось як вони порівнюються з іншими:

NdFeB проти Самарію Кобальту (SmCo).

У цьому детальному порівнянні ми розглянемо основні різниці між самарій-кобальтовими (SmCo) та неодимовими (NdFeB) магнітами – охоплюючи все від магнітної сили та температурної толерантності до корозійної стійкості:

- **Магнітна енергія.** Магніти NdFeB зазвичай пропонують вищі максимальні енергетичні продукти (до 52 MGOe) у порівнянні з SmCo (близько 30 MGOe). Це означає, що магніти NdFeB є сильнішими для свого розміру.

- **Температура.** Магніти SmCo краще витримують високі температури та краще протистоять демагнетизації, ніж NdFeB. Магніти NdFeB можуть втрачати силу при температурах вище 150–200°C, якщо не мають спеціального градування.

- **Вартість.** Магніти NdFeB зазвичай дешевші, що робить їх популярними для масового виробництва.

NdFeB проти Альніко.

- **Міцність.** Магніти NdFeB мають набагато сильнішу магнітну силу порівняно з Alnico, що забезпечує нижчу коерцитивність та максимальний енергетичний продукт.

- **Довговічність.** Магніти Alnico мають хорошу температурну стабільність і корозійну стійкість, але є габаритнішими порівняно з NdFeB.

NdFeB проти феритних (керамічних) магнітів.

- **Магнітна енергія.** Магніти феритові є найслабшими за магнітною силою порівняно з NdFeB, з максимальним енергетичним продуктом близько 3–4 MGOe, що значно нижче за діапазон NdFeB.

- **Вартість і корозія.** Магніти феритові мають низьку ціну та високу корозійну стійкість, що робить їх хорошим вибором для суворих умов, де сила не є критичною.

- **Розмір.** Щоб досягти сили маленького магніту NdFeB, феритовий магніт має бути значно більшим.

Неодимові магніти типу NdFeB перевищують класичні феритові та алюміній-нікель-кобальтові магніти за низькою параметрів:

- у 10–15 разів сильніші при однакових розмірах;
- легші та компактніші;
- мають стійке покриття, що захищає від корозії;
- витримують тисячі циклів без втрати потужності;
- дозволяють створювати новітні конструкції з мінімальною вагою;

Таблиця 3 – Типові значення для магнітів NdFeB

Властивість	Типовий діапазон	Одиниці
Максимальний енергетичний продукт (BHmax)	33–55	МГсЕ (мегагаус-ерстед)
Коерцитивність (Hc)	900–2000	кА/м
Щільність магнітного потоку (B)	1,0–14	Тесла (Т) або 10000–14000 Гаусів

- створюють меншу індукцію розсіювання, працюючи більш ефективно в замкнутому магнітному полі.

Вибір правильного магніту залежить від балансу між силою, вартістю, умовами експлуатації та розміром. Для більшості застосувань, де важлива сила, магніти NdFeB зазвичай лідирують.

Сподіваємося, що ця публікація дала Вам загальне уявлення про неодимові магніти. Тому при виборі магнітів можете враховувати ці знання. Від себе хочемо додати, що ці потужні виробники на заводах не маркуються, в Україні на ринку в основному можна зустріти клас магніту N38 і рідко N 42.

Висновки.

Неодимові та самарій-кобальтові магніти мають право на життя в ортопедичній стоматології як фіксуючі пристрої для зубних протезів.

Неодимові магніти – це універсальне рішення для фіксації зубних протезів. Завдяки використанню сучасних технологій ці магніти мають вражаючу потужність у маленькому розмірі. Надійне покриття гарантує довготривалу службу без втрати фізичних та магнітних властивостей.

Перспективи подальших досліджень.

Враховуючи встановлені залежності виникає необхідність подальшого їх глибокого і досконалого наукового вивчення та досліджень для використання нової концепції магнітної фіксації в клінічній практиці.

Новаторам і дослідникам, які готові продовжувати досліджувати магнітну фіксацію зубних протезів Науково-виробниче підприємство «Українські магнітні системи» має можливість виготовити потрібні вам магніти, як за розміром так і за формою, напрямком намагніченості, феромагнітним матеріалом та іншими параметрами.

Зверніть увагу!

- Рідкоземельні магніти можуть загорятися від тертя, тому не пиляйте та не свердліть їх.
- Рідкоземельні магніти небезпечні для кардіостимуляторів, приладів і банківських карток.
- Рідкоземельні магніти дуже потужні.
- Рідкоземельні магніти втрачають свої властивості при температурі більше 80°C.
- Рідкоземельні магніти дуже крихкі. Не впускайте та не стукайте.
- Тримайте магніти подалі від дітей.

Література

1. Korol DM, Skubii IV, Cherevko FA, Yefymenko AS, Onypko YeL. Stomatolohichnyy mahnitnyy abatment vlasnoyi rozrobky. Visnyk problem biolohii i medytsyny. 2015;2(4):211-214. [in Ukrainian].
2. Skubii IV. Osoblyvosti fiksatsiyi povnykh znimnykh plastynkovykh proteziv na nyzhniy shchelepi iz zastosuvanniam samariy-kobaltovykh mahnitiv z oporoju na vnutrishnokistkovykh implantatakh [dysertatsiia]. Poltava: UMSA; 2019. 204 s. [in Ukrainian].
3. Kusumadewi AN, Damayanti L, Rukiah, Risdiana. Factors affecting the attractive force of dental magnetic attachment: a literature review for guiding dentists in clinical application. Int J Dent. 2022;2022:9711285. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/9711285>
4. Takahashi M, Yamaguchi H, Takada Y. Ideal set-up angle between a pair of oval dental magnetic attachments for suppression of the loss in retentive force associated with horizontal displacement. Heliyon. 2022;8(8):e10361. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10361>

5. Aldhohrah T, Mashrah MA, Wang Y. Effect of 2-implant mandibular overdenture with different attachments and loading protocols on peri-implant health and prosthetic complications: a systematic review and network meta-analysis. *J Prosthet Dent.* 2022;127(6):832-844. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.12.016>
6. Putra Wigianto AY, Ishida Y, Matsuda T, Goto T, Watanabe M, Ichikawa T. Novel magnetic attachment system manufactured using high-frequency heat treatment and stamp technique: introduction and basic performance. *Dent J (Basel).* 2022;10(5):75. DOI: <https://doi.org/10.3390/dj10050075>
7. Watanabe M, Kanazawa M, Sato D, Uehara Y, Miyayasu A, Iwaki M, et al. Oral function of implant-assisted removable partial dentures with magnetic attachments using short implants: a prospective study. *Clin Oral Implants Res.* 2022;33(12):1265-1272. DOI: <https://doi.org/10.1111/clr.14008>
8. Alfarsi MA, Shaik S. Oral rehabilitation of a cleft palate patient with tooth-supported, telescopic magnetic overdenture. *BMJ Case Rep.* 2020;13(11):e233777. DOI: <https://doi.org/10.1136/bcr-2019-233777>
9. Hu F, Gong Y, Bian Z, Zhang X, Xu B, Zhang J, et al. Comparison of three different types of two-implant-supported magnetic attachments on the stress distribution in edentulous mandible. *Comput Math Methods Med.* 2019;2019:6839517. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/6839517>
10. Katheng A, Kanazawa M, Komagamine Y, Miyayasu A, Uehara Y, Sato D, et al. Masticatory performances and maximum occlusal forces of immediate and conventional loaded two-implant supported overdentures retained by magnetic attachments: preliminary study of randomized controlled clinical trial. *Int J Implant Dent.* 2021;7(1):57. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40729-021-00342-x>
11. Hu F, Zhang L, Zhang J, Zheng Y, Li Y, Zhang X, et al. Finite element analysis of stress distributions for mandibular dental implant-supported overdentures with magnetic attachments in osteoporotic and normal bone. *Int J Prosthodont.* 2024;37(1):49-58. DOI: <https://doi.org/10.11607/ijp.7839>
12. Rhea A, Soundar J, Pringle J, Chandra S, Mohan L. Magnet retained provisional acrylic partial dentures—a clinical report. *J Pharm Bioallied Sci.* 2026;18(1):S272-S273. DOI: 10.4103/jpbs.jpbs_1452_25.
13. Skubii IV. Vykorystannia mahnitiv dlia fiksatsii znimnykh proteziv (ohliad literatury) Ukrainskyi stomatolohichnyi almanakh. 2012;(3):50-53. [in Ukrainian].
14. Bhat VS, Shenoy KK, Premakumar P. Magnets in dentistry. *Arch Med Health Sci.* 2013;1:73-79. DOI: <https://doi.org/10.4103/2321-4848.113587>
15. Yalamolu SSS, Bathala LR, Tammineedi S, Pragallapati SHLP, Vadlamudi C. Prosthetic journey of magnets: a review. *J Med Life.* 2023;16(4):501-506. DOI: <https://doi.org/10.25122/jml-2020-0012>
16. Yaki osnovni vlastyivosti postiinykh mahnitiv? Brainly (Znaniya.com). Dostupno: <https://znaniya.com/task/45299672>
17. Starikov VV, Kutsevlyak VI. Dynamika laboratornykh markeriv krovi shchuriv pislia implantatsii mahnitiv iz zakhysnym ZrN pokryttiam. *Ukrainskyi zhurnal medytsyny, biolohii ta sportu.* 2019;(5):85-89. [in Ukrainian].
18. Kutsevlyak V, Starikov V, Samofalov V, Starikov V. Orthodontic treatment with Nd-Fe-B magnets. *Eureka: HS.* 2020;(3):54-62. DOI: <https://doi.org/10.21303/2504-5679.2020.001316>
19. Holiatkina MO. Elektrofizychni ta mahnitni vlastyivosti domishok i defektiv u vuhletsevomistykykh amorfnykh ta monokystalichnykh materialakh [dysertatsiia]. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho; 2025. 176 s. [in Ukrainian].
20. Meenakshi A, Fatima N, Bharti V, Paul P. Magnets in Prosthodontics. *Int J Oral Health Med Res.* 2015;2(4):81-84.
21. Narayana SL, Bharathi M, Sujitha K, Anjaneyulu M, Nagaveni D, Shareef SA. Magnets and their Role in Prosthodontics: A Comprehensive review. *Int J Oral Health Med Res.* 2016;3(1):155-157.
22. Tarashevska YuYe, Davydenko VYu, Sokolovska VM, Khilnich YeS, Kuznetsov VV. New concept of magnetic fixation in dentistry. *Bulletin of Problems Biology and Medicine.* 2024;1(1):311-315. <http://dx.doi.org/10.29254/2077-4214-2024-2-173-311-315>
23. Tarashevska YuYe, Shyian YeH, Shliakhovyi VP, vynakhidnyky; Ukrainska medychna stomatolohichna akademiia, patentovlasnyk. Tele-skopichne mahnitne z'yednannya. Patent Ukrainy № 148127. 2021 Lyp 7. [in Ukrainian].
24. Tarashevska YuYe, Shyian YeH, Shliakhovyi VP, vynakhidnyky; Ukrainska medychna stomatolohichna akademiia, patentovlasnyk. Stomatolohichnyy abatment za Tarashevskoyu. Patent Ukrainy № 148128. 2021 Lyp 07. [in Ukrainian].
25. Mahnit. Vikipediia. Vilna entsyklopediia. Dostupno: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D1%96%D1%82> [in Ukrainian].

МАГНІТНА ФІКСАЦІЯ ДЛЯ ЗУБНИХ ПРОТЕЗІВ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

Тарашевська Ю. Є., Давиденко В. Ю., Цветкова Н. В., Соколовська В. М., Давиденко Г. М.

Резюме. При дослідженні різноманітних видів фіксації зубних протезів було виявлено, що весь час, з початку застосування постійних магнітів в стоматології і до сьогодні, використовувалися тільки такі властивості магнітів, як притягування та прилипання з аксиальною формою намагнічування цих магнітів.

Сучасні матеріали для магнітів повинні відповідати вимогам для кожного конкретного виробу. Вибираючи матеріал для того чи іншого магніту, спеціалісту необхідно мати певні знання, але інформації по даній темі не достатньо у вітчизняних джерелах в яких вказується здебільшого тільки такі параметри, як коерцитивна сила (фактор стабільності постійних магнітів) та назва магнітного матеріалу. Тому, пошук і надання інформації для обґрунтованого вибору магнітної фіксації зубних протезів, вважаємо доречним і актуальним.

Мета дослідження – підвищення ефективності протезування хворих, шляхом поглиблення знань з магнітних властивостей матеріалів та магнітних методів фіксації зубних протезів.

Пошук та аналіз літературних та наукових джерел інформації для розширення знань із застосування магнітних пристроїв.

Всі магнітні фіксатори можна розділити на три великі групи: міжщелепні відштовхуючі магніти внутрішньопротезного розташування; однощелепні притягуючі магнітні імплантати; внутрішньо-кореневі магнітні притягуючі фіксатори.

У сучасній стоматології все більшу популярність набуває використання магнітів у знімних зубних протезах.

Сьогодні для виготовлення магнітів використовують різноманітні матеріали. Це альніко, ферити, сплави самарій-кобальту, неодим-залізо-бору, залізо-хром-кобальту, а також матеріали в вигляді суміші магнітного порошку та будь-якого зв'язуючого компоненту. В якості зв'язуючого матеріалу можуть виступати каучук, пластик і матеріали на основі епоксидної смоли. Кожний із вищезгаданих матеріалів мають і переваги, і недоліки. Властивість феромагнетичних матеріалів є основою при виготовленні магнітів.

Для фіксації зубних протезів використовують неодимові та самарій-кобальтові магніти. Неодимові магніти – це універсальне рішення для фіксації зубних протезів. Завдяки використанню сучасних технологій ці магніти мають вражаючу потужність у маленькому розмірі. Надійне покриття гарантує довготривалу службу без втрати фізичних та магнітних властивостей.

Ключові слова: постійні магніти, внутрішньо-кореневі магніти, температура Кюрі, магніти в стоматології.

MAGNETIC FIXATION FOR DENTAL DENTURES (LITERATURE REVIEW)

Tarashevska Yu. Ye., Davydenko V. Yu., Tsvetkova N. V., Sokolovska V. M., Davydenko G. M.

Abstract. When studying various types of fixation of dentures, it was found that all the time, from the beginning of the use of permanent magnets in dentistry to the present day, only such properties of magnets as attraction and adhesion with the axial form of magnetization of these magnets were used.

Modern materials for magnets must meet the requirements for each specific product. When choosing a material for a particular magnet, a specialist must have certain knowledge, but information on this topic is not enough in domestic sources, which mostly indicate only such parameters as coercive force (stability factor of permanent magnets) and the name of the magnetic material. Therefore, we consider the search and provision of information for a well-founded choice of magnetic fixation of dentures to be appropriate and relevant.

The aim of the study is increasing the effectiveness of prosthetics for patients by deepening knowledge of the magnetic properties of materials and magnetic methods of fixation of dentures.

Search and analysis of literary and scientific sources of information to expand knowledge on the use of magnetic devices.

All magnetic retainers can be divided into three large groups: intermaxillary repulsive magnets of intraprosthodontic location; single-jaw attractive magnetic implants; intra-root magnetic attractive retainers.

In modern dentistry, the use of magnets in removable dentures is becoming increasingly popular.

Today, various materials are used to manufacture magnets. These are alnico, ferrites, samarium-cobalt, neodymium-iron-boron, iron-chromium-cobalt alloys, as well as materials in the form of a mixture of magnetic powder and any binding component. Rubber, plastic and materials based on epoxy resin can act as a binding material. Each of the above materials has both advantages and disadvantages. The property of ferromagnetic materials is the basis for the manufacture of magnets.

Neodymium and samarium-cobalt magnets are used to fix dentures. Neodymium magnets are a universal solution for fixing dentures. Thanks to the use of modern technologies, these magnets have impressive power in a small size. Reliable coating guarantees long-term service without loss of physical and magnetic properties.

Key words: permanent magnets, intra-root magnets, Curie temperature, magnets in dentistry.

ORCID кожного автора та його внесок до статті:

Tarashevska Yu. Ye.: <https://orcid.org/0000-0003-2983-1708>^{ADF}

Davydenko V. Yu.: <https://orcid.org/0000-0002-4231-7343>^{CF}

Tsvetkova N. V.: <https://orcid.org/0000-0003-1153-529X>^{EF}

Sokolovska V. M.: <https://orcid.org/0000-0002-8944-5828>^{BD}

Davydenko G. M.: <https://orcid.org/0000-0001-6219-2376>^{ED}

Конфлікт інтересів:

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Адреса для кореспонденції

Тарашевська Юлія Євгеніївна

Полтавський державний медичний університет

Україна, 36000, м. Полтава, вул. Шевченка 23

Тел.: 0993697320

E-mail: pos.ortop@pdmu.edu.ua

A – концепція роботи та дизайн, B – збір та аналіз даних, C – відповідальність за статичний аналіз, D – написання статті, E – критичний огляд, F – остаточне затвердження статті.

Ця стаття розповсюджується на умовах ліцензії **Creative Commons Attribution (CC-BY)**, яка дозволяє необмежене використання, поширення та відтворення в будь-якому форматі за умови належного цитування оригінальної роботи © Всі автори, 2026

Стаття надійшла 29.01.2026 року
Стаття прийнята до друку 04.05.2026 року
Опубліковано 27.05.2026 року