

ОРТОДОНТИЧНИЙ РОЗДІЛ

УДК 616.314.28

В. И. Куцевляк, д. мед. н., В. В. Стариков

Харьковская медицинская академия последипломного образования

СНИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОРТОДОНТИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

При ортодонтическом лечении внутриротовыми аппаратами с магнитами необходимо обеспечить пассивацию поверхности магнита. Для этого в работе исследовалась коррозионная стойкость защитных покрытий в виде тонких плёнок оксида циркония или слоя фотополимерного материала путем измерения электродных потенциалов магнитов в исходном состоянии и после нанесения покрытия. Замеры проводились в электрохимической ячейке, заполненной физиологическим раствором, в паре со стандартным хлорсеребряным электродом. Согласно результатам эксперимента оксидное покрытие обеспечивает полную пассивацию поверхности магнита только при толщине более 10 мкм. Более тонкие покрытия имели несплошности, особенно в области углов и рёбер магнитов. Пассивация поверхности магнита фотополимерным материалом обеспечивается при нанесении на поверхность магнита слоя толщиной 0,4-0,6 мм. Первый способ пассивации не изменял размеры магнита, благодаря малой толщине оксидной плёнки, а второй способ более прост в реализации, но даёт увеличение размеров магнита и, поэтому, эффективен при применении в базе ортодонтических аппаратов.

Ключевые слова: ортодонтия, магниты, коррозия, защитные покрытия, электродный потенциал.

В. І. Куцевляк, В. В. Старіков

Харківська медична академія післядипломної освіти

ЗНИЖЕННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ АКТИВНОСТІ ПОСТІЙНИХ МАГНІТІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В ОРТОДОНТИЧНИХ АПАРАТАХ

При ортодонтичному лікуванні внутрішньоротовими апаратами з магнітами необхідно забезпечити пасивацію поверхні магніту. Для цього в роботі досліджувалася корозійна стійкість захисних покриттів у вигляді тонких плівок оксиду цирконію або шару фотополімерного матеріалу шляхом вимірювання електродних потенціалів магнітів в початковому стані і після нанесення покриття. Заміри проводились в електрохімічній ячійці, заповненій фізіологічним розчином, в парі зі стандартним хлорсрібним електродом. Згідно з результатами експерименту оксидне покриття забезпечує повну пасивацію поверхні магніту тільки

при товщині більше 10 мкм. Більш тонкі покриття мали несплошності, особливо в ділянках кутів і ребер магнітів. Пасивація поверхні магніту фотополімерним матеріалом забезпечується при нанесенні на поверхню магніту шару завтовшки 0,4-0,6 мм. Перший спосіб пасивації залишав незмінним розміри магніту, завдяки малій товщині оксидної плівки, а другий спосіб більш простий в реалізації, але дає збільшення розмірів магніту і, тому, ефективний при застосуванні в базі ортодонтичних апаратів.

Ключові слова: ортодонтія, магніти, корозія, захисні покриття, електродний потенціал.

V. I. Kutsevliak, V.V. Starikov

Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education

REDUCTION OF ELECTROCHEMICAL ACTIVITY OF PERMANENT MAGNETS USED IN ORTHODONTIC APPLIANCES**ABSTRACT**

Introduction. It is possible to increase the effectiveness of treatment of various anomalies of occlusion with the help of orthodontic appliances, including permanent magnets as components. However, the magnet's material does not have the necessary corrosion resistance and needs to be protected from the aggressive environment of the oral cavity.

Purpose. Conduct tests and assess the corrosion resistance of magnets with various types of protective coatings.

Materials and methods. Nd-Fe-B permanent magnets in the form of rectangular parallelepipeds were used. Protective coating from zirconium oxide were deposited on their surface by vacuum magnetron spraying of a zirconium target and simultaneous putting into the spraying zone oxygen, and photopolymer material was used too. We studied the corrosion resistance of used protective coatings by measuring their electrode potentials in an electrochemical cell filled with saline, paired with a standard silver chloride electrode.

Results. An uncoated magnet exhibits a fairly low electrode potential of $E = -0.7$ V, comparable to the potential of undoped iron-based alloys. The application of a protective coating of zirconium oxide with a thickness of up to 1 μ m practically does not change its electrode potential. This is because the protective film was not solid or part of the surface (corners and edges) of the magnet was shaded when the oxide was applied by spraying in a vacuum. With an increase in the thickness of the oxide coating to 10 μ m, the electrode potential increased to $E = +0.02$ V, which provided the necessary level of magnet protection.

The surface of the magnet was isolated by applying a photopolymer material with a thickness of 0.4-0.6 mm, when we use magnets as part of orthodontic appliances. In this case, the electrode potential of the magnet had almost the same values as the photopolymer rod

($E = + 0.04 \text{ V}$). This indicates a high continuity of coating both along the planes of the magnet and at its edges and corners.

Conclusions. The passivation of the surface of Nd-Fe-B permanent magnets used in orthodontic appliances can be carried out in two ways. If it is necessary to preserve the size of the magnet, a vacuum method should be used to form a coating in the form of zirconium or titanium oxide with a thickness of about $10 \mu\text{m}$. In the absence of additional requirements for coating thickness, it is more expedient to use a photopolymer material for surface insulation. This technology is cheaper and easier to implement, and a coating of 0.4-0.6 mm thick provides the necessary level of passivation of the magnet surface.

Key words: orthodontics, magnets, corrosion, protective coatings, electrode potential.

Введение. Использование ортодонтических конструкций с магнитами для лечения патологий прикуса [1, 2] имеет ряд преимуществ. В этом случае существенно облегчается чистка зубов из-за упрощения конструкции аппарата, что обеспечивает уменьшение количества дополнительных элементов, создающих ретенционные пункты, в которых могут скапливаться пищевые остатки. Кроме того, в аппаратах с магнитами происходит передача сил без трения, а также можно с высокой точностью рассчитать величину действующей силы [3].

Наиболее перспективными магнитными материалами для ортодонтии являются сплавы Sm-Co и Nd-Fe-B, демонстрирующие высокие силы межмагнитного взаимодействия, вполне достаточные для эффективного перемещения зубов, при небольшом объёме самих магнитов [4]. Следует также отметить, что современные магнитные материалы демонстрируют высокую стабильность физических свойств.

Существенным недостатком магнитных материалов является их невысокая коррозионная стойкость, приводящая к разрушению магнита при электрохимической коррозии в агрессивной среде ротовой полости [5].

Исправить возникшую ситуацию можно путём нанесения на магниты защитных покрытий различного типа, приводящих к пассивации поверхности магнитного материала. Такими покрытиями могут быть оксидные или нитридные плёнки на основе вентильных материалов [6], а также полимерные материалы, использующиеся в стоматологии [7]. Однако в настоящее время в научной литературе наблюдается дефицит информации по способам пассивации поверхности магнитов, применяемых в ортодонтических аппаратах, и характеристике эффективности защитных покрытий.

Цель работы. испытание коррозионной стойкости оксидных и полимерных покрытий, нанесённых на поверхность магнитов Nd-Fe-B, и их сравнительный анализ.

Объект и методы исследования. В работе использовались постоянные магниты Nd-Fe-B в виде прямоугольных параллелепипедов с размерами $5 \times 5 \times 2 \text{ мм}$. На поверхность магнитов наносились защитные покрытия двумя разными способами. При реализации первого способа покрытие наносилось путем вакуумного магнетронного распыления циркониевой мишени и одновременного напуска в зону распыления кислорода. В этом случае формировалось тонкое (до 10 мкм) покрытие из оксида циркония. Второй способ заключался в нанесении на поверхность магнита фотополимера с его последующей световой полимеризацией. В этом случае покрытие имело толщину до 0,6 мм.

Анализ электрохимической активности материала магнита и покрытий проводился путем измерения их электродных потенциалов в электрохимической ячейке, заполненной физиологическим раствором (0,9 % – водный раствор NaCl), в паре со стандартным хлорсеребряным электродом [6].

Результаты исследований и их обсуждение. Поскольку оксиды вентильных металлов демонстрируют высокую устойчивость против электрохимической коррозии, то для защиты поверхности магнитов Nd-Fe-B от коррозионного разрушения использовалось покрытие в виде тонкой пленки оксида циркония. Такой материал эффективно применяется в стоматологии для изготовления безметалловых керамических протезов. Результаты коррозионных испытаний представлены на рис. 1.

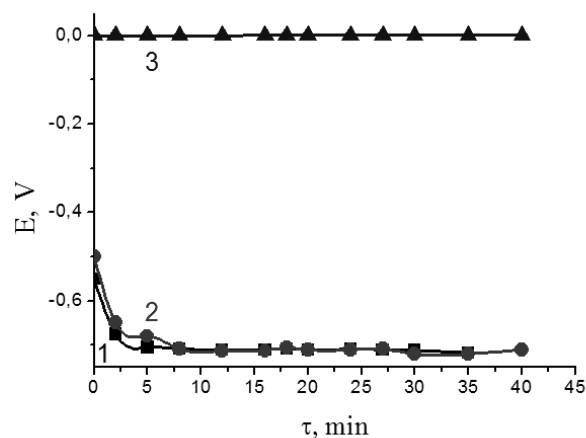


Рис. 1. Электродные потенциалы магнитов Nd-Fe-B в исходном состоянии (1), после нанесения оксида циркония толщиной 1 мкм (2) и после нанесения оксида циркония толщиной 10 мкм (3).

Магнит без покрытия демонстрирует достаточно низкий электродный потенциал (рис. 1, кривая 1), сопоставимый с потенциалом нелегированных сплавов на основе железа. В сочетании с другими конструкционными элементами ортодонтического аппарата (кольца, коронки, направляющие) незащищённые магниты будут достаточно быстро корродировать и разрушаться во рту пациента, что неприемлемо как с точки зрения разрушения самого ортодонтического аппарата, так и с точки зрения выделения продуктов коррозии, которые могут оказывать токсическое действие на организм. Нанесение защитного покрытия из оксида циркония толщиной до 1 мкм существенно ситуацию не меняет (рис. 1, кривая 2). Величины электродных потенциалов незащищённого магнита и магнита с оксидным покрытием практически совпадают. Такая ситуация возможна в случае, если защитная плёнка не является сплошной или часть поверхности магнита затенялась при нанесении оксида путем распыления в вакууме. Так, наиболее слабыми местами с этой точки зрения являются углы и ребра магнитов.

Для решения возникшей проблемы было принято решение существенно увеличить толщину наносимого оксидного слоя, чтобы таким образом нивелировать дефицит оксидного материала на краях магнита. Толщина оксидного покрытия была увеличена в 10-12 раз. Такой шаг привел к тому, что электродный потенциал магнита существенно сместился в область положительных значений, достигнув уровня значений, характерных для электродных потенциалов оксидов титана и циркония. Это, а также стабильность значения потенциала во времени, свидетельствуют о сплошности оксидного покрытия не только на плоскостях магнита, но и на его углах и рёбрах. При этом общие размеры магнита критически не изменились, поскольку толщина нанесённого покрытия составляла 10 мкм.

В некоторых случаях для перемещения зубов могут использоваться ортодонтические аппараты с установленными в них магнитами. Крепёж магнитов осуществляется либо путём их размещения внутри пластмассового базиса аппарата, либо путём фиксации на поверхности аппарата. Если магнит выступает из базиса, то также появляется необходимость качественной пассивации его поверхности. Гарантированная изоляция магнита может быть обеспечена путём нанесения на его поверхность тонкого слоя фотополимерного материала до его установки на базис ортодонтического аппарата. Ввиду технологических особенностей фотополимер может обеспечить более качественную изоляцию поверхности магнита, чем базисная пластмасса. Исходя из этого,

в работе проверялась возможность полной герметизации магнита с помощью тонкого фотополимерного слоя. Так как испытания проводились в электролитическом водном растворе, то, благодаря электроосмотическим процессам, можно было контролировать покрытие на предмет образования в нём субмикropористости, которую обычным способом обнаружить было бы проблематично. Электрохимические коррозионные испытания для этой группы образцов представлены на рисунке 2.

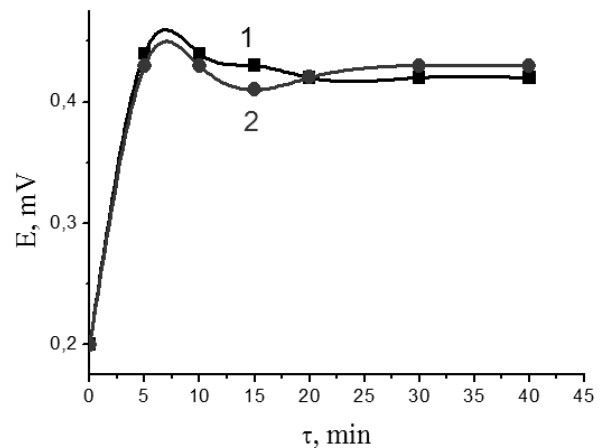


Рис. 2. Электродные потенциалы фотополимерного материала (1) и магнита Nd-Fe-B после нанесения сплошного слоя фотополимерного материала на его поверхность (2).

Вначале из фотополимерного материала формировался стержень, который затем полимеризовался с помощью специальной лампы. Электродный потенциал такого стержня (рис. 2, кривая 1) находился в зоне положительных значений недалеко от нулевого значения, что указывало на нейтральный характер обменных процессов с раствором электролита. Значение электродного потенциала полимера было близким к значению потенциала циркониевого оксидного покрытия (рис. 1, кривая 3). При нанесении на магнит слоя фотополимера толщиной 0,4-0,6 мм его электродный потенциал имел практически такие же значения, как и у фотополимерного стержня. Это указывает на высокую сплошность покрытия как по плоскостям магнита, так и на его рёбрах и углах. Следовательно, когда нет жестких требований к изменению размеров магнита при нанесении защитного покрытия, данный способ пассивации достаточно эффективен из-за простоты его реализации.

Заключение и выводы. Таким образом, пассивация поверхности постоянных магнитов Nd-Fe-B, применяемых в ортодонтических аппаратах, может проводиться двумя способами, имеющими приблизительно одинаковую эффективность. В случае, когда необходимо максимально сохранить размеры магнита, целесообразно использовать вакуумный способ осажде-

ния покрытия, представляющего собой оксид циркония или титана. Такое покрытие демонстрирует достаточно высокое качество пассивации поверхности уже при толщине порядка 10 мкм. Если же к толщине покрытия нет особо жестких требований, то более целесообразно использовать для изоляции поверхности фотополимерный материал. Такая технология является более дешевой и простой в реализации, а покрытие толщиной 0,4-0,6 мм обеспечивает необходимый уровень пассивации поверхности магнита.

Список литературы

1. **Bondemark L. A.** comparative analysis of distal maxillary molar movement produced by a new lingual intra-arch Ni-Ti coil appliance and a magnetic appliance / L. A. Bondemark // Eur J Orthod. – 2000. Dec; – №22(6). – P. 683-95
2. Ортодонтическое лечение парными блоками / Уильям Дж. Кларк ; Пер. с англ. – М. : МЕДпресс_информ, 2007. – 384 с. : ил.
3. **Sharma N.** The Use of Magnets in Orthodontics / N. Sharma, S. Shrivastav, R. H. Kamble, P. Sharma. // World Journal of Dentistry. – 2015. – №6. – С. 45–48.
4. Robinson A. L. Powerful new magnet material found / A. L. Robinson // Science. – 1984. – №223. – P. 920-922.
5. The corrosion behavior of Ne₂Fe₁₄B and SmCo₅ magnets / A. Kitsugi, O. Okuno, T. Nakano [et al.] // Materials Journal. – 1992. – №11. – P. 119-129.
6. **Starikov V. V.** Features of medical implant passivation using anodic oxide films / V.V. Starikov, S.L. Starikova, A.G. Mamalis, S.N. Lavrynenko // Journal of Biological Physics and Chemistry. – 2016. – Vol. 16. – №. 2. – P. 90-94.
7. **Терапевтическая стоматология: национальное руководство / под ред. Л.А. Дмитриевой, Ю.А. Максимовского.** – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2009. – 912с. – (Серия «Национальные руководства»)

REFERENCES

1. **Bondemark L. A.** comparative analysis of distal maxillary molar movement produced by a new lingual intra-arch Ni-Ti coil appliance and a magnetic appliance Eur J Orthod. 2000; Dec;22(6):683-95
2. **Uil'jam Dzh. Klark** *Ortodonticheskoe lechenie parnymi blokami* [Orthodontic treatment with twin blocks] / *Perevod s angl.* – М. : MEDpress_inform; 2007:384.
3. **Sharma N., Shrivastav S., Kamble R. H., Sharma P.** The Use of Magnets in Orthodontics. World Journal of Dentistry. 2015;6:45–48.
4. **Robinson A. L.** Powerful new magnet material found. Science. 1984; 223:920-922.
5. **Kitsugi A., Okuno O., Nakano T., Hamanaka H., Kurada T.** The corrosion behavior of Ne₂Fe₁₄B and SmCo₅ magnets. Dental Materials Journal. 1992;11:119-129.
6. **Starikov V.V., Starikova S.L., Mamalis A.G., Lavrynenko S.N.** Features of medical implant passivation using anodic oxide films. Journal of Biological Physics and Chemistry. 2016;2(16):90-94.
7. **Dmitrieva L. A., Maksimovskij Ju.A.** *Terapevticheskaja stomatologija: nacional'noe rukovodstvo* [Therapeutic dentistry: national guidelines]. [M. : GJeOTAR-Media., (Serija «Nacional'nye rukovodstva»)]; 2009:912.

Поступила 24.08.18

