

УДК 739.2:620.3

АНАЛІЗ ГІПОАЛЕРГЕННИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЮВЕЛІРНИХ МЕТАЛІВ: ВЛАСТИВОСТІ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Дерев'яновський А.М., студент

Київський національний університет технологій та дизайну

Волох Л.В., кандидат фізико-математичних наук, доцент

Київський національний університет технологій та дизайну

Ключові слова: гіпоалергенні покриття, ювелірні метали, PVD, дифузія, знос, корозія, біосумісність.

Золото та срібло завжди вважались біосумісними металами, що не реагують зі шкірою, у ювелірній сфері, вони рідко використовуються у чистому вигляді, тобто без домішок інших металів, через їх здатність витримувати навантаження. Для підвищення робочих властивостей матеріалу до їх складу додаються різні домішки, такі як нікель, мідь, кобальт, цинк та паладій.

Дослідження підтверджують, що саме ці домішки, а не благородні метали, є основною проблемою розвитку алергії при носінні ювелірних виробів. Зокрема, нікель вважається головним алергеном, який найчастіше спричиняє дерматит у користувачів ювелірних прикрас. Саме тому, алергічні реакції пов'язані зі складом дорогоцінних металів, а не з чистим золотом, чи сріблом. Це підкреслює актуальність застосування гіпоалергенних покриттів у ювелірній сфері[1-3]. Додатковим фактором є зростання попиту на безпечні ювелірні вироби внаслідок підвищення обізнаності споживачів щодо ризиків алергічних реакцій. Важливу роль також відіграють нормативні обмеження, зокрема регулювання в країнах Європейського Союзу щодо допустимого виділення нікелю з виробів, що контактують зі шкірою.

Метою роботи є аналіз *гіпоалергенних покриттів* для ювелірних металів, зокрема для золота та срібла й оцінка їх ефективності з урахуванням фізико-математичних моделей.

Одним з ключових процесів, що визначають ефективність покриттів, є поступове проникнення іонів металів через захисний шар. Вона описується першим законом Фіка[2]:

$$J = -D \frac{dC}{dx}$$

де J - густина потоку, D - коефіцієнт дифузії. У ювелірних виробках зменшення коефіцієнту дифузії дозволяє запобігти проникненню іонів нікелю через покриття до шкіри [2].

Найпоширенішими покриттями виділяють родієві, які забезпечують високу надійність захисту від корозії та декоративного ефекту. Однак при тривалому носінні (наприклад каблучки) вони можуть стиратися. Самим ефективним покриттям є PVD, яке характеризується високою твердістю, міцним зціпленням з основою та довговічністю. У наші часи широко застосовується у сучасних ювелірних виробках через свою зносостійкість[3].

Знос покриттів описується законом Арчарда[4]:

$$V = \frac{K \times L \times S}{H}$$

де V – об'єм зношування, H – твердість матеріалу. У ювелірних виробках це означає, що більш тверді покриття будуть довше зберігати свої захисні властивості навіть при щоденному носінні[4].

Аналіз сучасних досліджень також підтверджує ефективність наноструктурованих покриттів, а саме срібних або графенових, які мають антибактеріальні та високі біосумісні властивості[1,5].

Процеси корозії металів, що можуть призводити до руйнування покриттів описанні у рівнянні Батлера-Фольмера[3]:

$$i = i_0 \left\{ e^{\frac{anF\eta}{RT}} - e^{-\frac{(1-a)nF\eta}{RT}} \right\}$$

де i – густина корозійного струму. Для ювелірних виробків це означає, що низьке значення цього параметру у покритті, краще захистить метал від руйнування його у вологому середовищі, тобто від поту або води[3].

Саме тому, ефективність гіпоалергенних покриттів визначається їх здатністю обмежувати проникнення частинок металу через захисний шар, довговічність зношування, та корозії металу.

Отже виходить що гіпоалергенні покриття, значно знижують ризик алергічних реакцій у ювелірних виробках. Найбільш ефективними покриттями є PVD та наноструктуровані покриття. Фізико-хімічні процеси проникнення частинок металу через покриття, зношування та корозія металу визначають довговічність та якість такого покриття. Подальші дослідження за цією темою спрямовані на створення більш стійких варіантів покриттів з підвищеною сумісністю матеріалів зі шкірою.

Список використаних джерел:

1. Juma T., Wang H., Cao X. Novel biocompatible magnetron-sputtered silver coating for enhanced antibacterial properties and osteogenesis in vitro. 2024. DOI: 10.1038/s41598—024-77270-4

2. Проф. Сахненко М.Д., Навч.-практ. посіб. Фізична хімія, лек. 3. Електропровідність розчинів. Дифузія в розчинах електролітів.- Харків:Нац. Тех. Ун-т. Харківський політехнічний інститут. 2020. - 33-35 ст.

3. Yang X, Yu X and Qiu S (2026) Advances and applications in medical coating materials: a comprehensive review. Front. Chem. 14:1760661. DOI:10.3389/fchem.2026.1760661

4. Xie F., MD/PhD., Sheng S., Ram V., FRCS., Pandit H., MD/PhD. Hypoallergenic Knee Implant Usage and Clinical Outcomes: Are They Safe and Effective. Vol 28. P. 101399. 2024. DOI: 10.1016/j.ardt.2024.101399

5. Romo-Rico J, Bright R., Krishna M.S., Vasilev K., Golledge J., Jacob M.V. Carbon Trends. Antimicrobial graphene-based coatings for biomedical implant applications. Vol. 12. P. 100282. 2023. DOI: 10.1016/j.cartre.2023.100282. <https://researchonline.jcu.edu.au/80321/1/80321.pdf>