

УДК 616-77

Романець М.Р. студентка 2-го курсу спеціальності 132 Матеріалознавство
Науковий керівник: Науменко О.Г., старший викладач кафедри механічної та біомедичної інженерії
(Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна)

ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ПОКРИТТІВ З НІТРИДУ ТИТАНУ В ОРТОПЕДИЧНІЙ ІМПЛАНТОЛОГІЇ

Покриття з нітриду титану – це спеціальне захисне покриття, яке вперше було клінічно впроваджене в 1990-х роках як потенційна стратегія для покращення зносостійкості та корозійних характеристик ортопедичних імплантатів і запобігання вивільненню іонів металів в організм. Нітрид титану - керамічний матеріал, біосумісний і надзвичайно твердий, має високу провідність і рухливість електронів, а також високу температуру плавлення (2000 - 4000 °С), низьку ціну та високу стійкість до зносу і корозії. Багато властивостей плівок з нітриду титану сильно залежать від їх складу (співвідношення між вмістом азоту і титану) і структури, яка залежить від технології нарощування і використовуваних параметрів осадження. Однак, можна виділити деякі властивості покриття TiN (табл. 1) [1].

Таблиця 1

Властивості TiN

Властивість	Значення
Щільність g/cm ³	5,4
Теплопровідність W/m °C	19,0
Питомий електричний опір μ*Ω*cm	20 ± 10
Твердість за Вікерсом GPa	18-21
Модуль пружності GPa	600
Теплове розширення 10 ⁻⁶ °C ⁻¹	9,4
Коефіцієнт Пуансона	0,25

Стехіометрія нітриду титану також впливає на візуальний вигляд покриттів, варіюючись від металево-сірого до червонувато-коричневого кольору, що переходить через золотий в стехіометричних умовах [1].

Нітрид титану (TiN) отримує все більше уваги в сучасних дослідженнях та практичному застосуванні в імплантології завдяки своїй біосумісності, високій твердості і корозійній стійкості, низькому коефіцієнту зносу і тертя та є бар'єром між матеріалом імплантату (субстратом) і живою тканиною.

Корозійна стійкість. Знос і корозія є основними проблемами в тотальному ендопротезуванні, що впливають на термін служби ортопедичних виробів з металів і сплавів, які використовуються в якості імплантатів. Відомо, що наявність біологічних рідин дозволяє металевим імплантатам вивільняти іони металів, які можуть накопичуватися в прилеглих тканинах або транспортуватися в інші частини тіла. Саме з цим пов'язані проблеми, що стосуються канцерогенності, алергії, місцевої токсичності тканин, запалення, генотоксичності [2]. Вивільнення іонів металів з підкладки в організм зменшується при нанесенні керамічного покриття TiN, оскільки зменшується проліферація бактерій. Крім того, покриття, завдяки покращеній корозійній стійкості, створює фізичний бар'єр між субстратом і навколишнім середовищем.

Зносостійкість. Ще однією властивістю, яку повинен мати біоматеріал при встановленні в місцях, схильних до зношування, таких як суглоби, є висока зносостійкість. Вона покращує стабільність і належне функціонування імплантаційного пристрою, уникаючи утворення частинок зносу, які призводять до несприятливої реакції в тканині у вигляді запалення, остеолізу, резорбції кісткової тканини і

розхитування імплантату. Підвищення, поверхневої твердості і зниження коефіцієнта зносу і тертя можна досягти завдяки нанесенню TiN-покриття. Зі збільшенням зносостійкості зменшується і вивільнення частинок зносу. Також покращується втомна міцність біоматеріалу [1].

Антибактеріальна активність. Слід звернути увагу й на антибактеріальну активність покриттів з нітриду титану. Дослідження *in vitro* показують, що покриття TiN значно зменшують адгезію та ріст різних штамів бактерій, що дозволяє запобігти періімплантаційним інфекціям без шкоди для біосумісності титанових поверхонь. Зменшення бактеріальної адгезії можна пояснити здатністю четвертинних атомів азоту розривати клітинну стінку, викликаючи витік клітинних речовин і кінцевий апоптоз бактерій. Крім того, дослідження показують, що покриття біоплівкою було нижчим на TiN (24,22%) порівняно з титаном без покриття (85,2%) [3].

Покриття TiN наноситься на титан і його сплави, сплави TiNi, нержавіючу сталь AISI 316L, кобальтохромові, нікель-хромові, кобальтохромово-молібденові сплави. Також воно використовується для покриття хірургічних інструментів [1]. Існує багато методів нанесення TiN як покриття на титанові сплави, наприклад, іонно-плазмове азотування, хімічне осадження з газової фази (CVD) і дугове катодне фізичне осадження з газової фази (PVD). Останнє є найбільш розповсюдженим та може використовуватися для осадження монокристалів TiN на інші метали. Нещодавно для нанесення TiN-покриття на титанові сплави були впроваджені нові методи, такі як порошкове покриття з реакцією занурення (PIRAC) та техніка імплантації в азоті Hardion+, щоб покращити адгезію TiN-покриття до матеріалу імплантату [2].

Однак TiN-покриття мають й недоліки. Основним ускладненням є можливість порушення адгезії покриття. Оскільки TiN надзвичайно тверде покриття, його адгезійна стійкість на більш м'якому металі обмежена. Погана адгезія може призвести до адгезійного руйнування, тобто відшарування покриття від підкладки; або когезійного руйнування - розриву покриття. Найбільш типовим підходом для вирішення цієї проблеми є багат шарове нанесення, тобто осадження пластичного металевого прошарку (зазвичай титану) між покриттям і підкладкою [4].

Висновок. Використання покриттів з нітриду титану в імплантології забезпечує низку суттєвих переваг, серед яких покращена біосумісність, стійкість до корозії, підвищена зносостійкість та антибактеріальна активність. Ці властивості можуть значно подовжити термін служби імплантатів і знизити ризик ускладнень. Проте, для повного розуміння потенціалу TiN необхідно проводити подальші дослідження, зокрема щодо тривалого впливу покриття на організм і можливості порушення його адгезії.

Список використаних джерел

1. Orthopedic Implants: Coating with TiN [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://biomedres.us/fulltexts/BJSTR.MS.ID.002786.php#:~:text=Titanium%20nitride%20\(TiN\)%20is%20a,\(substrate\)%20and%20living%20tissue](https://biomedres.us/fulltexts/BJSTR.MS.ID.002786.php#:~:text=Titanium%20nitride%20(TiN)%20is%20a,(substrate)%20and%20living%20tissue).
2. Retrieval Analysis of Titanium Nitride Coatings for Orthopaedic Implants [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883540324006879#fig1>
3. Antibacterial activity of titanium nitride coating: a mini review [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://oajournals.fupress.net/index.php/ijae/article/download/14692/13797/31877>
4. Titanium-Nitride Coating Does Not Result in a Better Clinical Outcome Compared to Conventional Cobalt-Chromium Total Knee Arthroplasty after a Long-Term Follow-Up: A Propensity Score Matching Analysis [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2079-6412/10/5/442>