

СЕКЦИЯ
«НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ»

УДК 621.793

Применение DLC-покрытий, нанесенных на текстурированные поверхности головок эндопротезов тазобедренного сустава

Августовский П. А., аспирант

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Комаровская В. М.

Аннотация:

Рассматриваются перспективы одновременного применения текстурирования поверхности и последующего нанесения DLC-покрытия. Определяется наиболее предпочтительная модификация алмазоподобного углеродного покрытия для применения в ортопедии.

Текстурирование поверхностей уже давно доказало свою многофункциональность и эффективность в узлах трения в машиностроении: хонингование цилиндров, смазочные канавки и карманы втулок подшипников скольжения. С точки зрения биотрибологии, эндопротез тазобедренного сустава, представляет собой пару трения, уменьшение коэффициента трения которой является передовой задачей наравне с биосовместимостью имплантата.

Добавление микровпадин на головку эндопротеза тазобедренного сустава носит универсальный характер: уменьшение трения за счет увеличения гидродинамического давления, емкость для хранения смазки, пространство для отвода третьего тела при его возникновении в процессе износа трибопары [1, 2]. Алмазоподобные углеродные DLC-покрытия (*Diamond-like carbon*) являются биоинертными, обладают высокой твердостью и малым коэффициентом трения. Совмещение этих двух вышеперечисленных способов модификации поверхностей предполагает значительное увеличение срока службы эндопротеза тазобедренного сустава при условии решения ряда технологических задач, возникающих в процессе их получения.

Сложность соблюдения радиуса при изготовлении микровпадин накладывает ограничения на выбор подходящего метода. Доступными методами являются: лазерное текстурирование поверхности, микроинструмент, электроэрозионная обработка и химическое травление [1]. В случае с головкой эндопротеза тазобедренного сустава добавляется условие соблюдения траектории радиуса при изготовлении отверстия, поэтому наиболее подходящим способом получения будет является электроэрозионная обработка. В данный момент наиболее изученными и эффективными являются головки тазобедренного сустава с микровпадинами следующих параметров: диаметр 300 ± 10 мкм, глубина 70 ± 5 мкм, шаг 900 ± 50 мкм.

DLC – собирательное название для покрытий из углерода с преимущественно тетраэдральными sp^3 связями углерода, а соотношение sp^2/sp^3 связей определяет физические свойства и структуру: гидrogenизированный аморфный углерод ($a-C:H$), тетраэдрический аморфный углерод ($Ta-C$), аморфный углерод ($a-C$). Множество исследований показывает, что $a-C:H$ с содержанием sp^3 связей в диапазоне 40–50 % является предпочтительным для ортопедических имплантатов [3].

Научных работ по технологическому решению, которое совмещает два вышеописанных метода не так много, однако почти все результаты исследований подтверждают эффективность применения такого совмещения.

В статье [1] пять образцов головок тазобедренного сустава подвергались испытаниям на твердость и модуль упругости, определение шероховатости и коэффициента трения. Был обнаружен значительный эффект от напыления слоев $a-C:H$ и $Ta-C$ на имплантаты: коэффициенты трения снизились на 61 % ($a-C:H$) и 52 % ($Ta-C$) по сравнению с образцами из нержавеющей стали без покрытия соответственно.

Относительные различия коэффициентов трения между поверхностями с микровпадинами и без них незначительны, численные показатели представлены на рисунке 1.

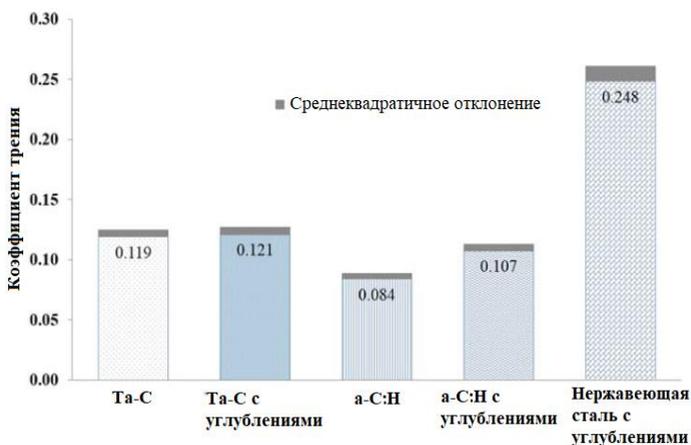


Рис. 1 – Результаты испытания на трение различных головок

Из анализа результатов испытаний выявлено, что наличие ямок не оказывает отрицательного влияния на фрикционные характеристики головок протеза. Прогнозируется, что частицы износа, попавшие в углубления, будут менее биологически реактивными по отношению к окружающим тканям, что улучшит биосовместимость. Авторы работы [2] получили схожие значения коэффициентов трения для $aC:H$ без углублений – 0,096, $aC:H$ с углублениями – 0,10006, $Ta-C$ с углублениями – 0,142, $CoCr$ без углублений – 0,137. В то же время более стабильные показатели коэффициента трения на дистанции в десять испытаний были установлены у головок, имевших углубления. Численные показатели представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициент трения различных головок в паре с керамической чашкой

| Вид поверхности | Коэффициент трения после 1 испытания | Коэффициент трения после 10 испытаний |
|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| $aC:H$ без углублений | 0,0841 | 0,1039 |
| $aC:H$ с углублениями | 0,1074 | 0,1074 |
| $Ta-C$ с углублениями | 0,1209 | 0,1552 |
| $CoCr$ без углублений | 0,1857 | 0,1256 |

Что также коррелирует с показателями шероховатости до и после испытаний. У образцов *DLC*-покрытие + микровпадины шероховатость оставалась наиболее устойчивой, результаты отображены в таблице 2.

Таблица 2 – Шероховатость поверхностей во время испытаний

| Вид поверхности | Средняя шероховатость до испытания, нм | Средняя шероховатость после испытания, нм |
|----------------------------|--|---|
| <i>aC:H</i> без углублений | 55±5 | 80±5 |
| <i>aC:H</i> с углублениями | 60±5 | 65±5 |
| <i>Ta-C</i> с углублениями | 100±5 | 100±5 |
| <i>CoCr</i> без углублений | 24±5 | 120±5 |

Как заключение можно сформировать следующие положения: 1. *DLC*-покрытия обладают всеми необходимыми свойствами для применения в качестве рабочей поверхности эндопротеза головок тазобедренного сустава. 2. Наиболее предпочтительным алмазоподобным углеродным покрытием для использования в ортопедии является гидрогенизированный аморфный углерод (*a-C:H*). 3. Комбинация *DLC*-покрытие + микровпадины представляется перспективным, за счет стабильности показателей шероховатости и коэффициента трения, а также возможности удерживать частицы износа при их возникновении. Однако параметры углублений требуют дальнейших исследований.

Список использованных источников

1. Fabrication and characterization of DLC coated microdimples on hip prosthesis heads / D. Choudhury [et al.] // J Biomed Mater Res. – 2015. – Vol. 103, iss. 5, pt. B – P. 1002–1012.
2. A novel tribological study on DLC-coated micro-dimpled orthopedics implant interface / D. Choudhury [et al.] // J Mech Behav Biomed Mater. – 2015. – Vol. 45 – P. 121 – 131.
3. Алмазоподобные углеродные покрытия в эндопротезировании (обзор литературы) / В. Б. Макаров [и др.] // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2019. № 2 – С. 102 – 111.