ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/145

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНАШИВАНИЯ ДВУХ ШЕРОХОВАТЫХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ БИОСОВМЕСТИМОГО КЕРАМИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ
ТРЕНИИ**

^{1,2}Еремина Г.М., ^{1,2}Смолин А.Ю.

¹*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

²*Томский государственный университет, Томск*

Трение между элементами конструкции эндопротеза оказывает значительное влияние на эксплуатационный ресурс эндопротеза. В первую очередь это относится к протезам тазобедренного и коленного суставов. Для улучшения трибологических характеристик металлических эндопротезов применяют упрочняющие наноструктурные покрытия. При этом в качестве металла, как правило, используется титан, а в качестве покрытия – нитрид титана (TiN). Изнашивание поверхностей в узле трения эндопротеза играет ключевую роль в механическом поведении системы «кость-эндопротез». Сложность исследования процессов изнашивания заключается в том, что его экспериментальное изучение достаточно трудоёмко и ограничено временным и пространственным разрешением современных приборов, а математические модели достаточно громоздки. В связи с этим в трибологии активно используются численные методы механики и физики. В данной работе предложено оценивать износ покрытия на мезоуровне через значения коэффициента трения и толщины квазижидкого слоя перемешивания в зоне контакта.

Для моделирования был использован метод подвижных клеточных автоматов (ПКА), который основан на дискретном представлении материала [1]. Его преимуществом над другими численными методами является возможность явного моделирования разрушения материала, включая генерацию и распространение трещин, а также таких сложных процессов, как перемешивание вещества. В связи с этим одним из ярких применений метода подвижных клеточных автоматов является моделирование процесса трения. Для описания упругопластического поведения в рамках метода ПКА используется теория пластического течения с критерием Мизеса. Пару элементов можно рассматривать как виртуальный бистабильный автомат (у него существуют два устойчивых состояния: связанная и несвязанная пара), что позволяет явно моделировать процессы разрушения в методе ПКА. Заданием правил перехода пары из состояния связанной в состояние несвязанной формулируется критерий разрушения моделируемого материала, который, вообще говоря, определяется физическими механизмами деформации материала.

По данным из литературных источников геометрические особенности покрытия TiN и его механические свойства определяются режимами нанесения [2]. Рассматривалось три варианта средней высоты шероховатости двух контактирующих поверхностей: 0,132 мкм, 0,15 мкм и 0,265 мкм. Механические характеристики материала покрытия соответствовали следующим значениям: $\rho = 52200$ кг/м³, $G = 104$ ГПа, $K = 173$ ГПа, Данные по пределу текучести $\sigma_y = 4.5$ GPa, $\sigma_b = 5.5$ GPa, $e_b = 0.075$ были получены с помощью обратного анализа диаграмм измерительного индентирования [3].

Геометрически модель для изучения трения (рис. 1, а) состоит из двух тел в форме параллелепипедов. Каждый параллелепипед условно делится на две части: одна является поверхностью контакта, а другая – её основанием. Шероховатость двух контактирующих поверхностей задавалась в препроцессоре программного комплекса MCA_3D. Для имитации окружения выбранного образца в процессе нагружения на его боковых гранях задавались условия периодичности вдоль осей X и Y .

В исходном состоянии модели тела разнесены так, чтобы выступы шероховатостей не соприкасались между собой. Для их сближения и начала контактного взаимодействия (рис. 1, б) к автоматам верхнего и нижнего слоя прикладывались скорости V_z по оси Z . Далее для обеспечения скольжения тел друг относительно друга автоматам верхнего и нижнего слоёв задавались скорости V_y вдоль оси Y , а для прижима блоков друг к другу – распределённые

Секция 3. Проблемы компьютерного конструирования материалов с иерархической структурой

силы (давление), направленные по оси Z . Задаваемые условия нагружения сверху и снизу модели имели симметричный характер и одинаковую величину, но направления их действия были противоположными. Во избежание слишком жёсткого нагружения в зоне трения было реализовано поэтапное увеличение прилагаемых нагрузок. Для имитации протяжённости образца вдоль оси Z , необходимо гасить упругие волны, возникающие в зоне трения и распространяющиеся по образцу вдоль этого направления. С этой целью для автоматов обоих регионов была введена специальная вязкая демпфирующая сила вдоль оси Z .

Рис. 1. Исходная модель двух шероховатых поверхностей (а) и её конфигурация в начале трения скольжения (б)

По результатам численного моделирования были получены значения коэффициента трения при различных значениях шероховатости, а также толщина промежуточного квазизидкого слоя перемешивания, с помощью которой предлагается оценивать износ.

Acknowledgement: *The reported study was funded by RFBR according to the research project № 18-38-00323 and framework of the Russian Fundamental Research Program of the State Academies of Sciences for 2013–2020 (Priority direction III.23).*

1. Shilko, E.V., Psakhie, S.G., Schmauder, S., Popov, V.L., Astafurov, S.V., Smolin, A.Yu. Overcoming the limitations of distinct element method for multiscale modeling of materials with multimodal internal structure // *Computational Materials Science*. 2015. V. 102. P. 267-285.
2. Bonello, T., Avelar-Batista Wilson, J.C., Housden, J., Gutmanas, E.Y., Gotman, I., Matthews, A., Leyland, A., Cassar, G. Evaluating the effects of PIRAC nitrogen-diffusion treatments on the mechanical performance of Ti–6Al–4V alloy // *Materials Science & Engineering A*. 2014. V. 619. P. 300-311.
3. Giannakopoulos, A.E., Suresh, S. Determination of elastoplastic properties by instrumented sharp indentation // *Scripta Materialia*. 1999. V. 40(10). P. 1191-1198.