

УДК 539.4.019:004.94

DOI: 10.17223/00213411/63/9/80

А.Ю. СМОЛИН, Г.М. ЕРЕМИНА

### О ВЛИЯНИИ ФЛЮИДОНАСЫЩЕННОСТИ ПОРИСТОГО ПОКРЫТИЯ НА МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОКРЫТИЕ – ПОДЛОЖКА ПРИ КОНТАКТНОМ НАГРУЖЕНИИ \*

Рассматривается проблема влияния насыщенности пористого покрытия жидкостью на механические свойства как самого покрытия, так и всей системы покрытие – подложка в целом. Важным практическим применением рассматриваемой задачи являются износостойкие покрытия эндопротезов крупных суставов человека. На основе метода подвижных клеточных автоматов построена трёхмерная модель механического поведения пористого флюидонасыщенного покрытия на титановой подложке. С её помощью численно исследовано влияние насыщенности жидкостью поверхностного слоя керамического покрытия на механические характеристики системы покрытие – подложка. Результаты моделирования показывают, что наличие жидкости в тонком поверхностном слое покрытия может оказывать существенное влияние на механический отклик всей системы покрытие – подложка при достаточно высоких скоростях локального контактного нагружения. Так, расчёты без учёта жидкости приводят к завышению прочности и твёрдости материалов с покрытиями, находящихся в условиях смачивания. Моделирование царапания показывает, что материал с флюидонасыщенным поверхностным слоем более устойчив к изнашиванию.

**Ключевые слова:** флюидонасыщенное покрытие, поропругость, контактное нагружение, прочность, твёрдость, износ, моделирование, метод подвижных клеточных автоматов.

#### Введение

Твёрдые пористые материалы, насыщенные жидкостью, широко представлены в природе, живых организмах и технике. Это, прежде всего, геосреды, в том числе нефтяные месторождения, костные ткани, раковины, различные покрытия, фильтры, фундаменты и т.д. При этом известно, что такие материалы проявляют нелинейное деформационное поведение, когда пористость твёрдого каркаса является проницаемой, что связано с перераспределением жидкости внутри тела под действием механических напряжений. Обычно особенности деформирования таких сред изучают в условиях стеснённого сжатия [1, 2].

В настоящей работе рассмотрены особенности механического поведения флюидонасыщенного пористого поверхностного слоя при контактном (локальном) нагружении. Практическая важность данной задачи связана, прежде всего, с использованием упрочняющих покрытий в узлах трения эндопротезов тазобедренного и коленного суставов человека. Наиболее распространёнными являются металлические эндопротезы на основе титановых сплавов, однако они быстро изнашиваются. Для уменьшения изнашивания применяют упрочняющие покрытия, например TiN. В процессе нанесения покрытия в нем образуются поры, их объёмное содержание может достигать 20 % [3, 4]. После внедрения имплантата в организм через внешнюю поверхность покрытия в него начинает проникать биологическая жидкость, что приводит к изменению его физико-механических свойств.

Особенности покрытия, насыщенного биологической жидкостью, исследовать в организме *in vivo* невозможно. Исследование этого материала обычными методами механических испытаний затруднительно, так как он существует только в форме покрытия. Поэтому в данной работе применялось компьютерное моделирование, которое хорошо зарекомендовало себя для подобного рода задач [5–7]. Было исследовано механическое поведение системы покрытие – подложка с помощью численных экспериментов по локальному нагружению флюидонасыщенного покрытия.

Цель данной работы – выявление деформационных особенностей системы покрытие – подложка, связанных с наличием и перераспределением жидкости внутри поверхностного слоя упрочняющего покрытия TiN на подложке из титанового сплава, при таких видах контактного нагружения, как трёхточечный изгиб, индентирование и царапание.

\* Работа выполнена в рамках госзадания ИФПМ СО РАН, проект III.23.2.3.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>