

ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ДЕНТИНА ЧЕЛОВЕКА

Зайцев Д.В.¹, Ивашов А.С.², Главатских С.П.³, Мандра Ю.В.², Панфилов П.Е.¹

¹ – Уральский Федеральный Университет им. Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург,
Dmitry.Zaitsev@usu.ru

² – Уральская Государственная Медицинская Академия, г. Екатеринбург

³ – Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

Дентин человека составляет основную массу зуба и располагается в его центральной части. В коронковой части он покрыт эмалью, а в корневой – цементом. По своему строению дентин является трехуровневым биологическим композиционным материалом, состоящим из неорганических и органических компонентов. На первом уровне, наименьшем, он состоит из коллагеновых волокон, диаметром 50–100 нм, между которыми располагаются кристаллы гидроксиапатита кальция. Второй уровень представлен сеткой коллагеновых волокон, ориентированной преимущественно перпендикулярно дентиновым каналам, окруженных высокоминерализированной оболочкой, которые являются элементами третьего уровня. Основная функция дентина является поддерживать вышележащую эмаль – самую твердую ткань в человеческом организме. В процессе жизнедеятельности дентин человека, как правило, испытывает сжимающие нагрузки, тогда как во фронтальной группе зубов могут возникать и растягивающие напряжения при изгибе зуба. Поэтому сжатие и изгиб являются принципиальными и наиболее близкими к реальным условиям схемами деформации для изучения механического поведения дентина. Целью данного исследования являлось изучение механизмов релаксации приложенных напряжений в дентине человека.

Образцы для исследований были изготовлены из человеческих премоляров и моляров, удаленных по медицинским показаниям и не содержащих видимых патологий и повреждений. Механические испытания на сжатие и изгиб выполняли на разрывной машине Shimadzu AG-X 50kN. Металлографические исследования микроструктуры проводили методами оптической (металлографический микроскоп МИМ-8М (на отражение) и биологический микроскоп МБИ-6 (на просвет)) и электронной микроскопии (сканирующий микроскоп JEOL JSM-6390LV и просвечивающий микроскоп JEM-200CX).

Испытания на одноосное сжатие показали, что дентин является одновременно прочным, упругим и пластичным материалом, способным эффективно подавлять рост трещин. Образцы могли сохранять свою форму (не распадаться на части) при многократном нагружении, несмотря на наличие в них трещин. При этом свойства дентина сильно зависят от формы образцов. Так, с увеличением отношения диагонали к высоте, образец становится более прочным, упругим и пластичным, тогда как его жесткость уменьшается. Металлографическая аттестация поверхности образцов после испытания показала, что в образцах с большим отношением диагонали к высоте количество трещин больше, чем в образцах с меньшим отношением, а в случае наименьшего отношения образец разрушался за счет роста одной трещины. Такое поведение было характерно при испытании образцов дентина на изгиб, когда разрушение происходило в плоскости максимального напряжения. Характер разрушения и анализ деформационного поведения позволяет характеризовать дентин при изгибе как хрупкий материал. Следовательно, мы можем заключить, что рост трещин в образцах с большим отношением подавляется более эффективно, чем в случае с малым соотношением или изгибе, что связано с малыми расклинивающими напряжениями в случае плоских образцов. Действительно, изучение трещин показало, что механизм их роста подобен таковым в ГЦК металлах. Перед вершиной трещины формируется зона предразрушения, где наблюдается интенсивная пластическая деформация и образование пор.

Работа выполнена при поддержке программы ориентированных фундаментальных исследований УрО РАН, проект №12-5-022-УМА, гранта РФФИ для молодых ученых №12-05-31225 мол_а и гранта УрО РАН для молодых ученых №11-5-НП-478.