

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ КАРИОЗНОЙ ПОЛОСТИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗУБА И ПЛОМБЫ

**Т. Л. Рединова, А. А. Тимофеев, Т. Ю. Метелева,
М. С. Ефремов, Ю. К. Шелковников, А. И. Кириллов**
Институт прикладной механики УрО РАН
г. Ижевск

Основной причиной разрушения реставраций кариозных полостей являются напряжения, возникающие на границе раздела зуб-пломба. Усадка пломбировочных материалов является одной из главных причин таких напряжений. Следует отметить, что напряжения от полимеризации пломбы зависят в значительной степени от конфигурации полости («С-фактора»). Чем больше связанных пломбой стенок полости, тем больше силы, которые развиваются в процессе ее сжатия (вследствие усадки). Поэтому, чем больше «С-фактор» (соотношение между связанными и свободными стенками полости), тем более критически высоким будет соединение пломбы со стенками.

Теоретические исследования надежности пломбирования целесообразно проводить на математической модели механического поведения зуба с пломбой при воздействии на него жевательного усилия [1,2]. Для изучения напряженно-деформированного состояния зуба с пломбой применим метод конечных элементов (КЭ) – наиболее широко используемый в последнее время математический метод прочностного расчета конструкций [3]. При применении этого метода расчетная область разбивается на связанные между собой в узловых точках КЭ, для которых получают точные или приближенные решения уравнений, описывающие их напряженно-деформированное состояние.

Моделирование влияния геометрии кариозной полости на напряженно-деформированное состояние зуба и пломбы с применением метода КЭ состоит из следующих основных этапов:

- идентификация параметров задачи, создание расчетной схемы;
- разработка геометрии модели, пригодной для метода КЭ;
- разбиение модели на сетку конечных элементов;

- приложение к модели граничных условий и нагрузок;
- численное решение системы уравнений;
- анализ полученных результатов.

Наиболее трудоёмким этапом моделирования является создание конечно-элементной модели, так как автоматическое построение сетки элементов не гарантирует от появления ошибок. При этом модель зуба с пломбой разбивается на конечные элементы сравнительно простой формы, в пределах которых ищется приближённое решение. Результатом такого моделирования обычно является поле напряжений и смещений в исследуемой конструкции зуба. Численное решение системы уравнений выполняется автоматически и, как правило, особых трудностей не вызывает (за исключением систем с плохо обусловленной матрицей жёсткости). Анализ результатов значительно облегчается существующими инструментальными средствами визуализации результатов.

Для изучения влияния «С-фактора» пломбы геометрия модели может быть представлена двумя объемами (рисунок 1). Объем 1 – куб с ребром 10 мм и внутренней цилиндрической полостью диаметром 3 мм (либо другой формы, напр., клиновидной). Объем 2 – заполняет эту полость. Он имеет форму цилиндра диаметром 3 мм и длиной, равной половине длины ребра куба. С внутренней стороны цилиндр имеет закругление в виде полусферы того же диаметра. Для выполнения расчетов эти объемы соединяются (рисунок 1, а). Построена конечно-элементная модель зуба с пломбой (рисунок 1, б). Для выполнения расчетов задавались два варианта нагружения и закрепления модели:

- направление нагрузки перпендикулярно оси полости;
- направление нагрузки вдоль оси полости.

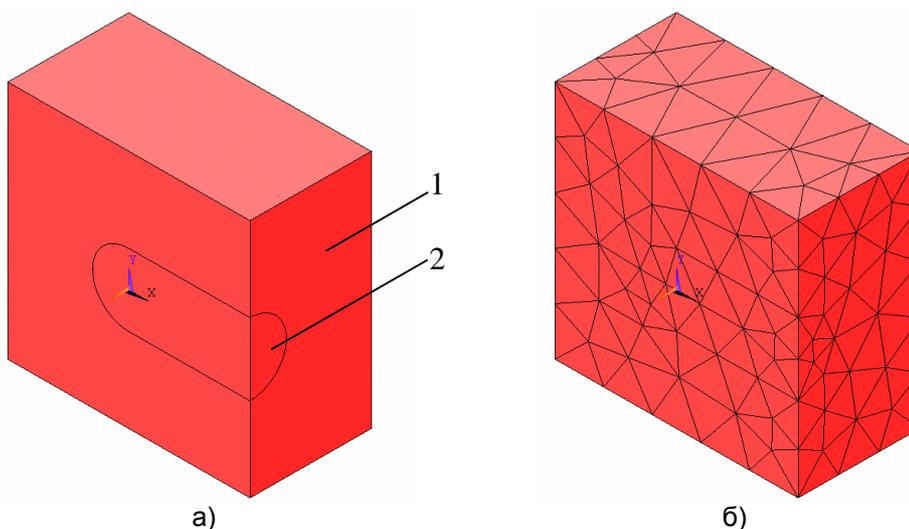


Рисунок 1 – Модель для исследования влияния геометрии кариозной полости

Результаты моделирования для зуба с цилиндрической полостью приведены на рисунке 2. Следует отметить, что при равенстве модулей упругости зуба и пломбы напряжения в зубе распределены равномерно. При модуле упругости пломбы $E_{пл}$ в два раза меньше модуля упругости зуба E_3 критическая область концентрации напряжений занимает почти всю полусферу пломбы (рисунок 2, а). При $E_{пл} = E_3$ критическая область уменьшается и смещается к центру полусферы (рисунок 2, б).

На рисунке 3 приведено распределение напряжений для зуба с клиновидной полостью и углом раскрытия 60° . Также как и для

зуба с цилиндрической полостью, в данном случае при равенстве модулей упругости зуба и пломбы напряжения в зубе распределены равномерно.

Для «мягкой» пломбы (модуль ее упругости меньше на 10%) критическая область концентрации напряжений размещается в зубе около вершины конуса полости.

Для более «жесткой» пломбы критическая область размещается в пломбе около вершины конуса, при этом напряженно-деформированное состояние зуба вокруг вершины конуса расширяется.

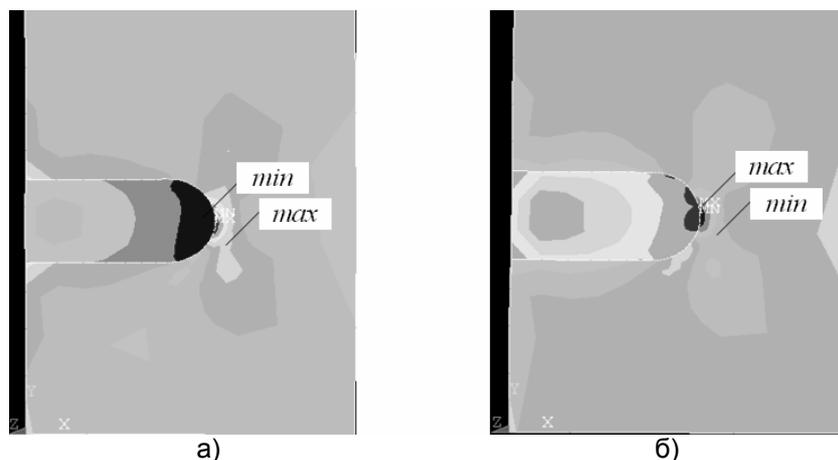


Рисунок 2 – Распределение напряжений в зубе с цилиндрической полостью:
а – при $E_{пл} = E_3 / 2$; б – при $E_{пл} = 2E_3$

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ КАРИОЗНОЙ ПОЛОСТИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗУБА И ПЛОМБЫ

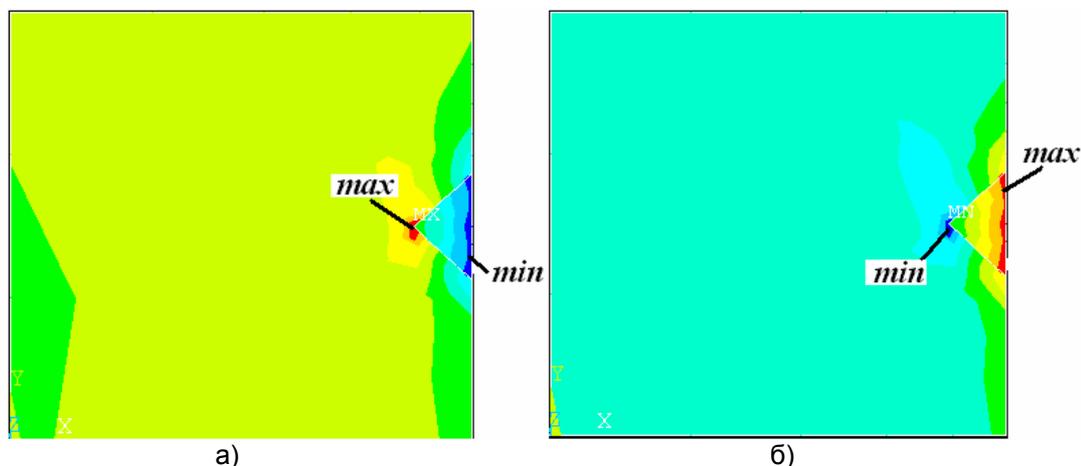


Рисунок 3 – Распределение напряжений в зубе с клиновидной полостью:
а – при $E_{пл} = 0,9E_3$; б – при $E_{пл} = 1,1E_3$

Анализ расчетов позволяет сделать следующие выводы.

1. При равенстве модулей упругости интактного и реставрированного зубов напряженно-деформированное состояние в зубе и пломбе распределено равномерно не зависимо от формы кариозной полости.

2. Зуб с клиновидной полостью по сравнению с зубом с цилиндрической полостью имеет область более высоких концентраций напряжений.

3. Для «мягких» пломб наибольшую нагрузку испытывает зуб, для «жестких» пломб наиболее нагруженной оказывается пломба.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефремов М.С., Рединова Т.Л., Тимофеев А.А., Метелева Т.Ю., Наймушин Ю.Н., Шелковников Ю.К. Моделирование напряженного состояния зуба после реставрации кариозных полостей // Ползуновский Альманах. – Барнаул: АлтГТУ, 2008. – С.162-164.
2. Наймушин Ю.Н., Рединова Т.Л., Тимофеев А.А., Метелева Т.Ю., С.М. Ефремов, Шелковников Ю.К. Моделирование напряженно-деформированного состояния зуба и пломбы с учетом их эмпирических деформационных характеристик // Вестник ИжГТУ. – 2010 – №2. – С.79-83.
3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 539с.