

УДК 615.472

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СНЯТИЯ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ С ПОМОЩЬЮ ВИБРОУДАРНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СИСТЕМЫ

*Докт. техн. наук, проф. КИСЕЛЕВ М. Г., инж. ВЕРТИНСКАЯ А. П., асп. СТЕПАНЕНКО Д. А.*

*Белорусский национальный технический университет*

Цель работы заключалась в определении оптимального метода снятия зубных протезов, обеспечивающего наилучшие условия отделения коронки от тела зуба.

Многие практикующие врачи-стоматологи сталкиваются в повседневной работе с необходимостью снятия различных ортопедических конструкций, в частности коронок и мостов. Однако вследствие отсутствия достаточных данных о снимаемых протезах, причинах их преждевременного снятия и методах щадящего выполнения этой манипуляции действия врача носят в ряде случаев бессистемный характер. Главными проблемами являются неприятные эмоциональные ощущения, травмы периодонта, отлом коронки зуба, раскол его корня и нарушение целостности протеза. Особое значение эти проблемы имеют при снятии металлокерамических и цельнолитых конструкций. В то же время адекватные действия врача значительно снижают эмоциональную нагрузку на пациента, что соответствует требованиям медицинской деонтологии, способствует достижению лучшего сотрудничества между врачом и пациентом, а также свидетельствует о его высоком профессионализме.

Проанализировав существующие методы снятия зубных коронок, их можно подразделить на:

- сохраняющие целостность коронки;
- нарушающие целостность коронки.

К первой группе относятся методы, которые предполагают снятие протеза путем разрушения цементной связки между культей зуба и коронкой с сохранением формы последней. Они включают в себя:

- нагревание цементной связки для создания в ней термических напряжений и дальнейшее механическое снятие коронки [1];

- воздействие на коронку сталкивающими силами (устройства с механическим [2] и электромагнитным принципами действия [3]);
- ультразвуковое воздействие [4];
- виброударное воздействие [5–7];
- воздействие гидравлическим давлением на связующий материал [8];
- воздействие пневматическим давлением на коронку [9].

Ко второй группе относятся методы, основанные на разрезании коронки с дальнейшим ее раскрытием и снятием с культи зуба. Разрезание коронки может осуществляться:

- стоматологическим бором;
- лазерным лучом [10];
- специальным устройством ножевого типа [11].

Применение большинства из описанных методов и средств является трудоемким и сопряжено с риском возникновения различных осложнений. Кроме того, они негативно влияют на эмоциональное состояние пациента в ходе выполнения процедуры. Из методов первой группы, на наш взгляд, наиболее эффективными являются методы, использующие ультразвуковое и виброударное воздействия, так как они основаны на периодическом приложении дозированной по величине нагрузки и позволяют избежать применения значительных усилий. Создание периодического ударного воздействия может осуществляться различными способами, например путем перемещения рабочей части коронкоснимателя с помощью электромагнита, питание которого осуществляется от источника импульсного тока [5] или с помощью вращающегося ударного элемента, закрепленного в наконечнике бормашины [6]. По [7] воздействие на поверхность коронки

с помощью вибраций частотой 50–340 Гц значительно упрощает процесс ее снятия.

Авторами предложен оригинальный способ снятия зубных протезов, основанный на использовании виброударной колебательной системы, в которой периодическое ударное воздействие создается за счет энергии ультразвуковых колебаний [12]. Характерной чертой ультразвуковых виброударных систем является наличие промежуточного ударного элемента, свободно установленного между концентратором ультразвукового преобразователя и обрабатываемой поверхностью. Такие системы используются для интенсификации многих технологических процессов при: обработке металлов давлением [13, 14], упрочнении деталей машин поверхностным пластическим деформированием [15], изготовлении абразивного инструмента [16, 17], размерной обработке хрупких материалов [18], отборе проб горных пород [19, 20], диспергировании твердых частиц [21], очистке деталей от загрязнений [22]. Применительно к процессу разрушения цементной связи представляют интерес сведения об интенсификации процесса разрушения хрупких материалов в условиях виброударного воздействия [18–21]. Так, в [18] описан способ виброабразивной обработки хрупких материалов с помощью инструмента, совершающего низкочастотные колебания, возникающие в результате его взаимодействия с торцевой поверхностью ультразвукового концентратора. В процессе ударного взаимодействия инструмента с частицами абразивной суспензии происходит выкалывание микрочастиц обрабатываемого материала.

В [19, 20] описана технология, отличие которой состоит в том, что инструмент взаимодействует непосредственно с разрушаемым материалом. В [21] исследовалось дробление хрупких материалов с помощью ультразвукового концентратора на неподвижной и подпружиненной наковальнях. Исследование фракционного состава продуктов дробления показывает, что получение частиц размерами, меньшими амплитуды колебаний, т. е. их интенсивное дробление, возможно только с использованием второй схемы.

Динамика ультразвуковых виброударных систем исследовалась в ряде работ, например [13, 16], в которых показано, что в таких системах возникают колебания центра масс промежуточного ударного элемента с частотой, меньшей частоты возбуждения ультразвукового преобразователя, и возрастающей амплитудой, значительно превышающей амплитуду колебаний на выходе концентратора. При этом происходит разрыв контакта звеньев системы и их взаимодействие носит импульсный (ударный) характер. В пределах каждого цикла колебаний амплитуда смещений ударного элемента возрастает вплоть до некоторого критического значения, по достижении которого происходит сближение звеньев системы и их силовое замыкание, после чего цикл повторяется.

**Методика проведения исследований.** Для моделирования процесса снятия зубных протезов была создана экспериментальная установка, включающая в себя ультразвуковую виброударную систему. Схема установки и ее внешний вид изображены на рис. 1.

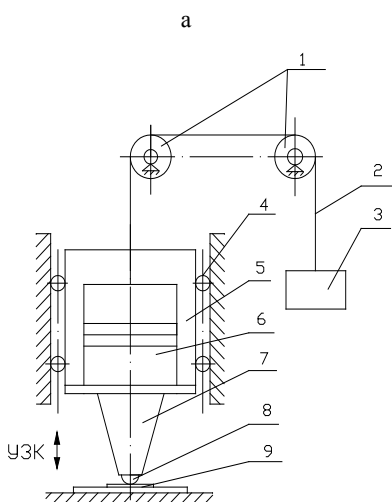


Рис. 1. Установка для моделирования процесса снятия зубных протезов при ультразвуковом виброударном воздействии: а – схема конструкции; б – внешний вид

Установка состоит из ультразвукового пьезокерамического пакетного преобразователя 6 с коническим концентратором 7 и металлическим шариком 8, который является промежуточным деформирующим элементом, необходимым для создания виброударного режима. Преобразователь смонтирован на кронштейне 5, который перемещается в вертикальном направлении за счет направляющих качения 4. Управление интенсивностью виброударного воздействия на исследуемый образец 9 осуществляется путем изменения статической нагрузки с помощью трособлочной системы 1, троса 2 и сменных грузов 3.

При проведении исследований была использована модель зубного протеза, который соединен с культей зуба при помощи цинк-фосфатного цемента марки Унифас. В данной модели зуб был представлен как стеклянная подложка прямоугольной в плане формы толщиной 2 мм, а протез моделировался при помощи квадратной в плане металлической пластинки из сплава КХС толщиной 0,4 мм. Площадь металлической пластинки варьировалась для разных опытов и принимала значения из ряда 100, 169, 225, 256 мм<sup>2</sup>. Внешний вид исследуемой модели представлен на рис. 2.

Модели были изготовлены в Республиканской клинической стоматологической поликлинике по технологии, практически аналогичной технологии крепления коронки к зубу. Для этого использовалось специальное оборудование, которое имеется только в зуботехнических лабораториях. Кратко можно описать данную технологию следующим образом: стеклянная подложка в предполагаемой области крепления металлической пластинки подвергается пескоструйной обработке для получения шероховатой поверхности. Так же обрабатывается металлическая пластинка. Проведение песко-

струйной обработки улучшает адгезию цемента к материалам пластинки и подложки. Далее на металлическую пластинку наносится цемент, пластинка накладывается на стеклянную подложку, и для исключения завоздушенности вся конструкция помещается под пресс. После некоторого затвердения цемента его излишки, образовавшиеся в результате растекания под прессом, удаляются со стекла. Использование пресса также позволяет получить равномерное распределение толщины цементного слоя в отдельно взятых образцах.

Перед проведением испытаний каждому образцу присваивался порядковый номер. Линейкой измерялись размеры каждой металлической пластинки и заносились в отчетную ведомость.

В процессе озвучивания образцы подвергались воздействию различной нагрузки. Эта нагрузка составляла 34 Н, что соответствует весу преобразователя, кронштейна, на котором крепился преобразователь, и каретки направляющих за вычетом веса сменного груза, в первом случае и 64 Н – во втором случае (здесь сменный груз помещался на каретку и являлся дополнительной нагрузкой).

Перемещение исследуемого образца в процессе озвучивания осуществлялось вручную по траектории, изображенной на рис. 3, что обеспечивало распространение воздействия на всю поверхность образца.

Время, необходимое для разрушения цементной связки, определялось при помощи секундомера и отсчитывалось с момента включения генератора до полного разрушения связи между металлом и стеклом при условии, что в начальный момент исследуемый образец находился в контакте с преобразователем. Момент разрушения связи характеризовался изменением частоты звука, возникающего при воздействии на образец.

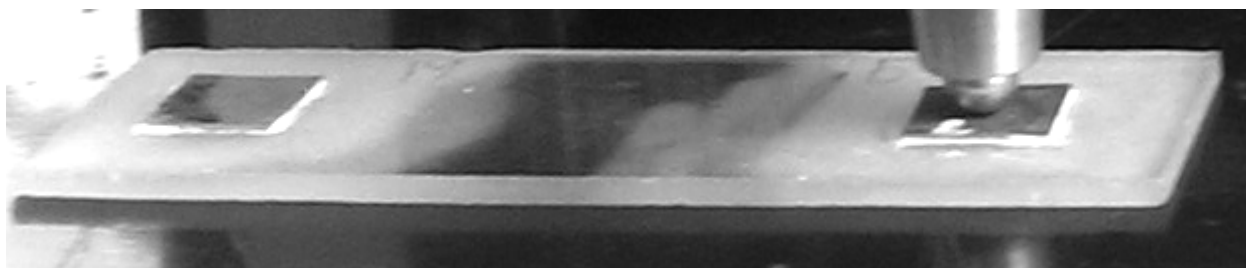


Рис. 2.

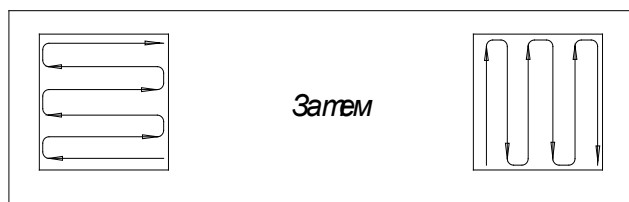


Рис. 3. Траектория перемещения образца при озвучивании

Затем анализировался характер разрушения цементной связки, после чего микрометром в нескольких местах измерялась толщина слоя цемента на металлической пластинке. Измерения проводились в местах, где цементная связка предположительно имела максимальную и минимальную толщину. За действительную величину толщины принималось среднее арифметическое полученных при измерении значений. Толщина слоя цемента, продолжительность и характер его разрушения также заносились в отчетную ведомость.

**Результаты исследований и их обсуждение.** При проведении испытаний наблюдались три ярко выраженные картины разрушения цементной связки в исследуемом образце.

В первом случае (рис. 4а) время разрушения было минимальным. Причиной тому послужили завоздушенность и пористость цементной связки. В ходе озвучивания выделялось много пыли и мелких частиц цемента. Большая часть цемента подвергалась разрушению, и лишь незначительная его часть оставалась на металлической пластинке или стеклянной подложке. На этих остатках наблюдалась пористая структура цемента.

Во втором случае время снятия металлической пластинки было средним. Это можно объяснить тем, что в исследуемом образце наблюдалась слабая адгезия цемента либо к металлу, либо к стеклу. В результате этого весь цемент оставался полностью на стекле или металле (рис. 4б).

Третья ситуация характеризовалась максимальным временем снятия металлической пластинки при озвучивании. В данном случае цемент имел высокую адгезию как к металлу, так и к стеклу. Это проявлялось в том, что при озвучивании не образовывалось крошек цемента, пыль появлялась только при длительном воздействии, а остатки цемента находились на стекле и металле практически в равных соотношениях (рис. 4в).

На рис. 5 приведены гистограммы, изображающие зависимость времени разрушения цементной связки от нагрузки при озвучивании (5а) (по 20 измерений для разной нагрузки), от площади металлической пластинки в исследуемом образце (5б) (по 8 измерений для разных площадей пластинок) и от толщины слоя цементной связки (5в) (по 8 измерений для разных толщин связки).

Из приведенных гистограмм следует, что величина времени разрушения цементной связки существенно зависит от всех указанных факторов. Изменяя их величину, можно воздействовать на процесс разрушения цементной связки в исследуемом образце. В частности, время разрушения сокращается при увеличении статической нагрузки, уменьшении площади пластинки и толщины цементной связки.

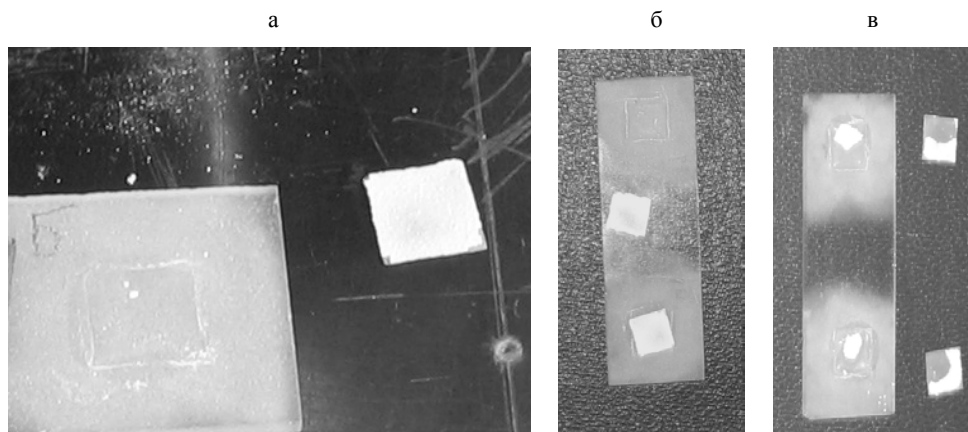


Рис. 4. Различные картины разрушения цементной связки

**ВЫВОДЫ**

1. Разработана методика проведения экспериментальных исследований, позволяющих моделировать процесс снятия зубных протезов при ультразвуковом виброударном воздействии, и создана установка для ее реализации.

2. На основании исследования характера разрушения цементной связки выявлены три основные схемы отделения модели протеза зуба от подложки: полное отделение модели протеза за минимальное время с полным разрушением структуры цементной связки; отделение модели за более продолжительное время с сохранением структуры связки на модели или подложке; отделение модели за длительное время с частичным разрушением структуры цемента.

3. Установлено, что эффективное отделение модели протеза зуба происходит при ультразвуковом виброударном воздействии. Время отделения зависит от нагрузки при воздействии, площади поверхности модели зубного протеза и толщины цементного слоя в используемой модели.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. **Устройство** для снятия коронок с зубов: а. с. 1833725 СССР, МПК А61С 3/16 / А. И. Каражелясков. – № 4881085/14; заявл. 11.11.90; опубл. 15.08.93; приоритет 11.11.90.
2. **Dental crown remover with basket**: US Patent 6394805, IPC А61С 3/14. / J. L. Rabal. – Application number 09/704065; filed 01.11.2000; date of patent 28.05.2002; priority 01.11.2000.
3. **Электроуправляемый** коронкосниматель: пат. РФ 2069999, МПК А61С 3/16 / А. Г. Шифрин [и др.]. – № 5034903/14; заявл. 14.08.91; опубл. 10.12.96; приоритет 14.08.91.
4. **International** application published under PCT WO 98/07381, IPC А61С 3/03. Method of using ultrasonic dental tool / J. Goodman. – Application number PCT/US96/13043; filing date 16.08.1996; publication date 26.02.1998; priority 16.08.1996.
5. **Коронкосниматель**: а. с. 296568 СССР, МПК А61С 3/00 / Я. М. Кричевский, М. А. Нападов, Ш. Л. Мильман. – № 1384194/31-16; заявл. 09.12.69; опубл. 02.03.71; приоритет 09.12.69.

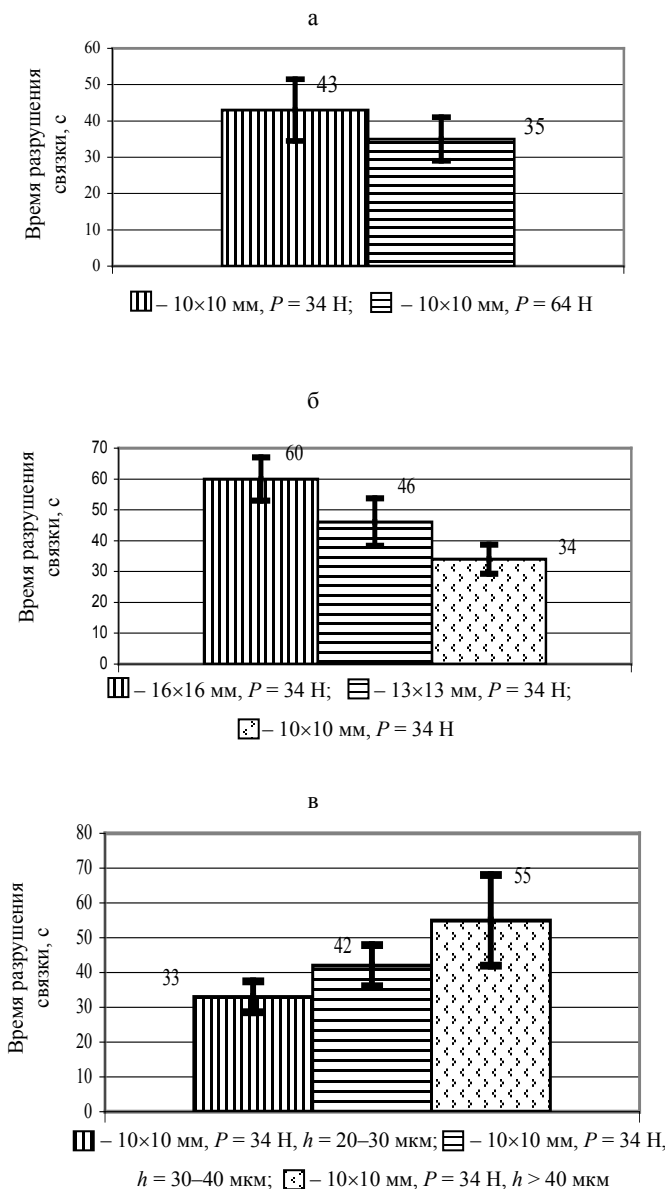


Рис. 5. Гистограммы зависимости времени разрушения цементной связки от различных факторов

На процесс разрушения цемента также влияют: качество пескоструйной обработки поверхностей исследуемого образца, адгезия цемента к металлу и стеклу, неравномерное распределение толщины цементного слоя, завоздушенность цементной связки у некоторых образцов. Эти факторы являются источниками случайных погрешностей при проведении испытаний. Если бы удалось свести их влияние к минимуму, то можно было бы получить более точные зависимости.

6. **Устройство** для обработки зубного протеза перед снятием: а. с. 1311730 СССР, МПК А61С 3/16 / В. Н. Гуров, А. И. Замурейко, О. Н. Мирошников. – № 3877252/23-14; заявл. 22.04.85; опубл. 23.05.87; приоритет 22.04.85.

7. **Способ** снятия зубных протезов: а. с. 1456126 СССР, МПК А61С 3/14 / В. Н. Гуров, А. И. Замурейко, О. Н. Мирошников. – № 3875878/28-14; заявл. 02.04.85; опубл. 07.02.89; приоритет 02.04.85.

8. **Способ** снятия зубных коронок: пат. РФ 2033770, МПК А61С 3/16 / Ю. С. Дрожжин [и др.]. – № 5066172/14; заявл. 05.06.92; опубл. 30.04.95; приоритет 05.06.92.

9. **Коронкосниматель**: а. с. 1172550 СССР, МПК А61С 3/16 / М. И. Садыков [и др.]. – № 3734128/28-13; заявл. 27.04.84; опубл. 15.08.85; приоритет 27.04.84.

10. **Способ** удаления зубных коронок и устройство для его реализации: патент РФ 2185122, МПК А61С 5/00 / С. Н. Багаев, А. П. Майоров, В. Т. Карсанов, К. А. Наумов, А. В. Кожин, В. М. Тарасов. – № 2000113999/14; заявл. 02.06.2000; опубл. 20.07.02; приоритет 02.06.2000.

11. **Инструмент** для разрезания зубных коронок: патент СССР 1812976, МПК А61С 3/16 / Р. Г. Гизатуллин, В. Б. Абраров. – № 4896601/14; заявл. 01.11.90; опубл. 30.04.93; приоритет 01.11.90.

12. **Положительное** решение по заявке на изобретение № а 20030348, МПК А61С 3/16, 3/03. Способ снятия коронки или моста и устройство для его осуществления / М. Г. Киселев, Д. А. Степаненко, Д. Л. Корчигин. – Заявл. 17.04.03; приоритет 17.04.03.

13. **Артемьев, В. В.** Ультразвуковые виброударные процессы / В. В. Артемьев, В. В. Клубович, В. Н. Сакевич. – Минск: БНТУ, 2004. – 258 с.

14. **Клубович, В. В.** Исследование и разработка ультразвукового метода изготовления хирургических микроигл / В. В. Клубович [и др.] // Доклады НАН Беларуси. – 2002. – Т. 46, № 5. – С. 106–109.

15. **Муханов, И. И.** Импульсная упрочняюще-чисто-

вая обработка деталей машин ультразвуковым инструментом / И. И. Муханов. – М.: Машиностроение, 1978.

16. **Киселев, М. Г.** Ультразвук в поверхностной обработке материалов / М. Г. Киселев, В. Т. Минченя, В. А. Ибрагимов. – Минск: Тесей, 2001. – 344 с.

17. **Способ** шаржирования поверхностей: а. с. 1203790 СССР, МПК В24В 11/02 / А. В. Степаненко, М. Г. Киселев, С. С. Савицкий, В. Т. Минченя. – Непублик.

18. **Пат. Республики Беларусь** на полезную модель № 2005, МПК В28D 1/14. Устройство для размерной обработки хрупких материалов / Д. А. Степаненко, Н. Т. Минченя. – № u 20040576; заявл. 08.12.04; опубл. 30.06.05; приоритет 08.12.04.

19. **International** application published under PCT WO 01/83933, IPC E21В 07/24, 12/06, 47/00. Smart-ultrasonic/sonic driller/corer / Y. Bar-Cohen, S. Sherrit, B. Dolgin, T. M. Peterson, D. Pal, J. Kroh, R. Krahe. – Application number PCT/US01/14289; filing date 02.05.01; publication date 08.11.01; priority 03.05.2000.

20. **Bar-Cohen, Y.** The ultrasonic/sonic driller/corer (USDC) as a subsurface drill, sampler and lab-on-a-drill for planetary exploration applications / Y. Bar-Cohen, Z. Chang, S. Sherrit, M. Badescu, X. Bao // Proc. of the SPIE Smart Structures Conference, San Diego, CA, SPIE Vol. 5762-22, March 7–10, 2005. – P. 152–159.

21. **Graff, K. F.** Ultrasonic comminution / K. F. Graff // Ultrasonics international'81 // Proc. of the conference. – Guilford: IPC Science and Technology Press, Ltd., 1981. – P. 171–175.

22. **Заявка на изобретение** № а 20010722, МПК В08В. Способ контактной ультразвуковой очистки изделий / А. С. Еремеев, В. В. Клубович, В. Ф. Луцко, В. Н. Сакевич. – Заявл. 21.08.01; опубл. 30.03.03; приоритет 21.08.01.

Поступила 25.10.2006