

УСТАНОВКА С СИЛОВЫМ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОМБИРОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

растать. Кроме того, меньшие значения погрешности имеют место при $50^\circ < \Delta\alpha < 100^\circ$

Выводы

В разработанном методе время измерения частоты зависит от длительности интервала времени между моментом начала измерения и моментом перехода дополнительного сигнала через ноль и образцового интервала времени Δt .

Реализация метода обеспечивает исключение частотной погрешности и погрешности по напряжению (по модулю) фазосдвигающего блока.

Результаты анализа погрешности, обусловленной влиянием квантования мгновенных значений сигналов, на погрешность результата определения частоты позволяют оптимально выбирать параметры измерительного процесса в зависимости от требований по точности и быстродействию.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 13-08-00173).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелентьев, В.С. Аппроксимационные методы и системы измерения и контроля параметров

- периодических сигналов / В.С. Мелентьев, В.И. Батищев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011.–240с.
2. Мелентьев, В.С. Метод определения интегральных характеристик гармонических сигналов по мгновенным значениям напряжения и тока, сдвинутым в пространстве / В.С. Мелентьев, Е.Г. Кожевникова // Измерение, контроль, автоматизация: Матер. 12-ой Международ. науч.-техн. конф. – Барнаул: АГТУ, 2011. - С. 115-118.
3. Мелентьев, В.С. Методы измерения частоты на основе сравнения гармонических сигналов, сдвинутых в пространстве и разделенных во времени / В.С. Мелентьев, А.Е. Синицын, А.А. Миронов // Информационно-измерительные и управляющие системы: Сб. науч. статей. – Самара: СамГТУ, 2013. - №1(8). - С. 62-66.
4. Батищев, В.И. Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики / В.И. Батищев, В.С. Мелентьев. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 393 с.

Зав. кафедрой, д.т.н., доцент В.С. Мелентьев – vs_mel@mail.ru; с.н.с., к.т.н. Ю.М. Иванов – fuego27@rambler.ru; аспирант А.А. Миронов - axtronart@yandex.ru - Самарский государственный технический университет, кафедра информационно-измерительной техники, ims@samgtu.ru, (486)337-05-45.

УДК: 620.178.4.6

УСТАНОВКА С СИЛОВЫМ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОМБИРОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е.Ю. Шелковников, А.И. Кириллов, С.М. Ефремов, Т.Л. Рединова, А.А.Тимофеев, Т.Ю. Метелева

В работе рассмотрены особенности разработки установки для изучения прочностных характеристик пломбировочных материалов. Показано, что созданная установка позволяет определять прочностные характеристики исследуемых образцов в процессе периодического изменения воздействующей силы, имитирующей жевательный процесс. Приведено описание структурной схемы и алгоритма работы разработанной установки на основе силового пьезоэлектрического преобразователя

Ключевые слова: прочностные характеристики, диаграммы деформирования, пломбировочный материал, пьезоэлектрический преобразователь, тензорезистор

Введение

Качество пломбировочного материала определяется безотказностью работы пломбы на его основе. С этой точки зрения отказ означает либо разрушение пломбы, ее ограниченное повреждение, либо накопление чрезмерных деформаций. При этом важнейшими показателями качества материала являются характеристики сопротивления деформированию и разрушению. В то же время

установить зависимость поведения пломбировочного материала в условиях эксплуатации от указанных механических характеристик расчетным путем можно лишь в первом и довольно грубом приближении по следующей причине. Механические характеристики носят условный характер и определяются в упрощенных условиях, не соответствующих эксплуатационным по геометрии исследуемых образцов, законам нагружения, видам

РАЗДЕЛ 4. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

напряженно-деформированного состояния, количеству и законам изменения различных внешних факторов. Поэтому изучение характеристик прочности и пластичности пломбировочных материалов при статических, повторно-переменных и импульсных нагрузках с учетом конструкционно-технологических факторов является актуальным.

Для стоматологических материалов, используемых для постоянного пломбирования зубов, установлен ГОСТ Р 51202-98 – «Материалы стоматологические полимерные восстановительные». В стандарте описаны технические требования, а также методы испытаний материалов. Следует отметить, что при статических испытаниях для определения характеристик прочности и пластичности исследуемый образец подвергается действию постоянной или медленно и плавно повышающейся нагрузки. Наряду с простыми способами нагружения применяют также статические испытания в условиях многоосного или комбинированного нагружения. Разрушение образцов в процессе эксплуатации может происходить в динамике под действием кратковременных, длительных и многократно прикладываемых нагрузок. Под действием динамической нагрузки происходит деформация, ослабляющая прочность образца и приводящая к возникновению трещин ползучести. Основной причиной их образования является усталостное разрушение. Зуб и пломба работают в упругой области, а напряжения в месте соединения зуб-пломба находятся за пределом текучести, вследствие чего происходит рост трещин. Они возникают в виде единичных трещин различной глубины и длины, которые во время жевательного процесса могут слиться в одну, образуя локальное отслоение пломбы.

Описание разработанной установки с силовым пьезоэлектрическим преобразователем

Для автоматизации испытаний пломбировочных материалов необходим формирователь нагрузки, имитирующий возвратно-поступательные движения жевательного процесса [1]. Акустические шумы, создаваемые таким формирователем, снижают точность определения момента отрыва пломбы от зуба при использовании измерительных устройств на основе метода акустической эмиссии [2]. Поэтому актуальным является выбор такого варианта построения формирователя, который сводит акустические шумы к минимуму. Пьезоэлектрический преобразователь позволяет получать любой закон воз-

действия, с регулировкой его цикличности и силы, а также обладает хорошими скоростными качествами. Кроме того, минимум подвижных частей с механическим трением значительно уменьшает уровень акустических шумов, что в совокупности дает ему существенные преимущества перед другими устройствами. Возможность формирования закона силового воздействия в цифровом виде с последующим преобразованием с помощью ЦАП в напряжение или ток для пьезоэлектрического преобразователя является его несомненным достоинством. Структурная схема разработанной установки на основе силового пьезоэлектрического преобразователя для испытания пломбировочных материалов приведена на рисунке 1.

Преимуществом данной установки является адекватность нагрузок имитируемому жевательному процессу, а также отсутствие при ее применении таких нагрузок, которые могут превысить предел упругости материала. Существенным достоинством установки является то, что определение прочностных характеристик исследуемых образцов (рисунок 2) производится в динамике во время процессов, изменяющихся во времени по синусоидальному (а также пилообразному, трапецеидальному и др.) закону.

В качестве силового пьезоэлектрического преобразователя (ПП) использован многослойный пьезопреобразователь МПП 6×6×40 (материал ЦТС-46), имеющий следующие технические характеристики. Максимальное удлинение – до 50 мкм при нагрузке 10 кг в диапазоне напряжения от 20 до 100 В; зависимость удлинения от приложенного напряжения – линейная. Предельное допустимое напряжение – 150 В; развиваемое усилие при этом более 120 кг. Максимальная частота – 1000 Гц; скорость отработки управляющего сигнала – 40 Мкс.

Установка для испытания в динамике прочностных характеристик пломбировочных материалов работает следующим образом. Дефектный зуб с образцом из пломбировочного материала и зуб-антагонист сближаются до полного контакта. Пьезоэлемент ПП создает между ними силу, величина и закон которой формируются программой испытаний на персональном компьютере (ПК). Контроль деформации объекта осуществляется тензорезистором. Аналоговая информация с выхода электронного блока (ЭБ) оцифровывается и через блок сбора и обработки информации (БСО) передается для расчета в ПК. Для повышения надежности испытаний в блоке об-

УСТАНОВКА С СИЛОВОМ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОМБИРОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

наружения начала разрушения пломбы (БОРМ) используются два независимых датчика – ультразвуковой и резистивный. При возникновении трещины между пломбой и дефектным зубом по началу акустической эмиссии ультразвуковой датчик [3], а также резистивный датчик [4] по изменению электрического сопротивления между пломбой и зубом независимо друг от друга регистрируют начало разрушения пломбы. При этом работа

резистивного датчика основана на свойстве краевой проницаемости на границе пломба - зуб формировать в зависимости от качества краевого прилегания пломбы различный электрический ток между первым электродом, приклеенным к пломбе (или расположенным внутри пломбы при ее изготовлении) и вторым электродом, приклеенным к дефектному зубу [1].

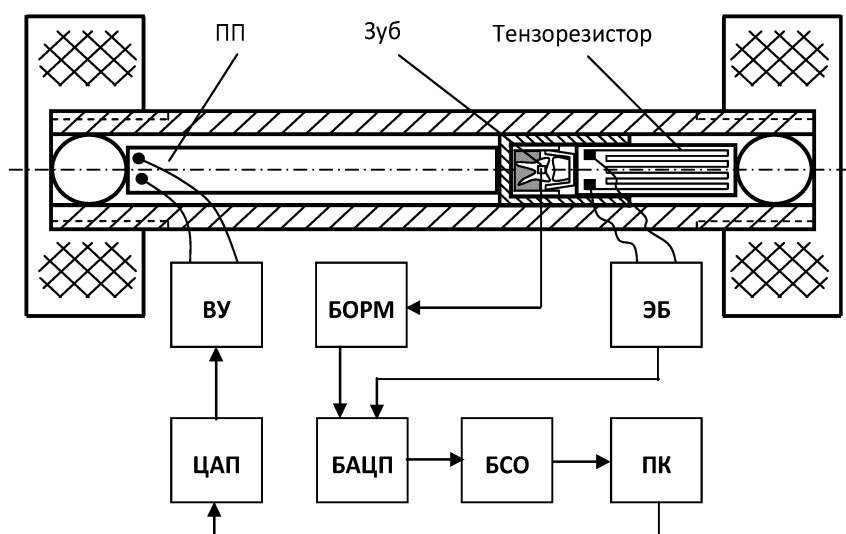


Рисунок 1 – Схема пьезоэлектрической установки для динамических испытаний пломбировочных материалов. ВУ – выходное устройство, БОРМ – блок обнаружения начала разрушения пломбы, ЭБ – электрон-ный блок, ЦАП – цифроаналоговый преобразователь, БАСЦП – блок аналого-цифрового преобразователя; БСО – блок сбора и обработки информации, ПК – персональный компьютер, ПП – пьезоэлектрический преобразователь

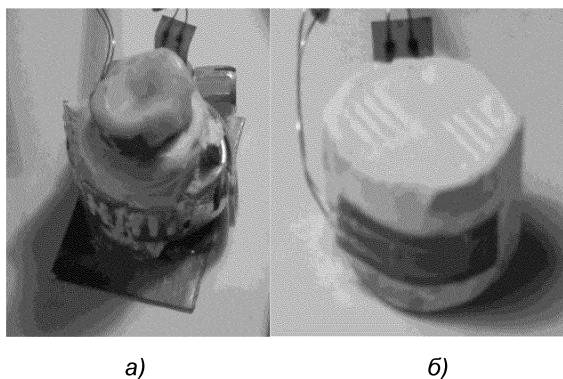


Рисунок 2 – внешний вид: а – исследуемый зуб; б – образец из цинк-фосфатного цемента

Результаты и их обсуждение

Для измерения прочностных характеристик дефектного зуба (или образцов из пломбировочных материалов) вокруг пломбы на зуб (или вокруг исследуемого участка образца из пломбировочного материала) наклеиваются образующие прямоугольник четыре тензорезистора, каждый из которых включен

в плечо своего измерительного моста блока сбора и обработки информации (БСО). При изменении рабочей базы наклеенных на зуб тензорезисторов изменяются и их электрические сопротивления, сопровождающиеся разбалансом соответствующих измерительных мостов. При этом тензорезисторы предварительно тарируются в единицах длины путем растягивания на тарировочной машине с регистрацией балансов соответствующих измерительных мостов согласно [5]. При измерении прочностных характеристик дефектного зуба (или образцов из пломбировочных материалов) применяются вертикальная нагрузка и два из четырех тензорезисторов (расположенные вертикально). Далее по известным значениям нагрузки и деформации вычисляются искомые прочностные характеристики дефектного зуба (или образцов из пломбировочных материалов). В частности, модуль упругости Юнга E и коэффициент Пуассона μ находятся по формулам:

РАЗДЕЛ 4. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_{\text{прод}}} \quad \text{и} \quad \mu = \frac{\varepsilon_{\text{поп}}}{\varepsilon_{\text{прод}}},$$

где $\sigma = \frac{\Delta P}{F}$ – напряжение, соответствующее

приращению силы P при нагружении; F – площадь поперечного сечения рабочей части

образца; $\varepsilon_{\text{прод}} = \frac{\Delta l_{\text{прод}}}{l}$ и $\varepsilon_{\text{поп}} = \frac{\Delta l_{\text{поп}}}{l}$ – со-

ответственно, относительные продольная и поперечная деформации; $\Delta l_{\text{прод}}$ и $\Delta l_{\text{поп}}$ – соответственно, абсолютные продольная и поперечная деформации; l – длина тензорезистора.

Из полученных с применением разработанной установки графиков напряжения и силы (рисунок 3) следует, что синусоидальная

зависимость изменения электрического напряжения от времени (на входе пьезопреобразователя) сохраняется в аналогичной синусоидальной форме зависимости изменения силы (приложенной к исследуемому образцу) от времени при сохранении той же частоты и фазы, но другой амплитуды. Это позволяет достаточно просто программировать и реализовывать различные циклы нагружения зуба, задавая требуемые соотношения между средним значением цикла и его амплитудой. При этом график деформаций (рисунок 3) показывает, что максимальному значению силы соответствует минимальное значение деформации, и наоборот. В применяемой схеме нагружения пьезопреобразователь создает нагрузку на сжатие, поэтому знак механического напряжения, регистрируемый измерителем деформации – отрицательный.

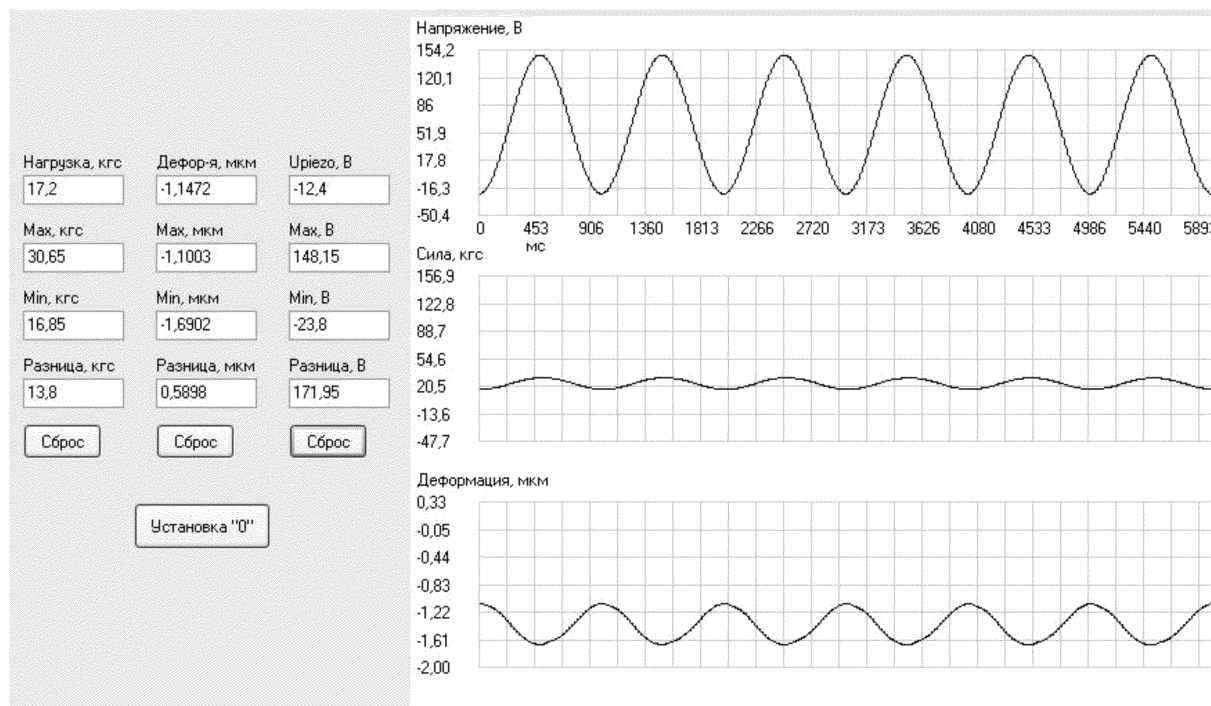


Рисунок 3 – Окно управляющей программы для исследования прочностных характеристик пломбировочных материалов

На рисунке 4а приведены сравнительные экспериментальные диаграммы деформирования зуба, цементного образца и калибровочного стального образца.

Полученные зависимости механического напряжения от относительной деформации имеют вид почти прямых линий, причем для зуба и цемента графики достаточно близки. Следовательно, их нагружение реализовано в упругой области работы материала и поз-

воляет определять коэффициент Пуассона и модуль упругости. Можно также сделать вывод, что исследованные зуб и пломбировочный материал значительно более податливы, чем калибровочный стальной образец, и имеют гораздо меньший модуль упругости. На рисунке 4б показано, что экспериментальные диаграммы деформирования зуба в статическом и динамическом режимах также имеют близкие значения, что позволяет

УСТАНОВКА С СИЛОВЫМ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОМБИРОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

определять прочностные характеристики исследуемых образцов в процессе периодического изменения воздействующей силы (имитирующей жевательный процесс), а также сравнивать поведение материалов при разных частотах в исследованном диапазоне.

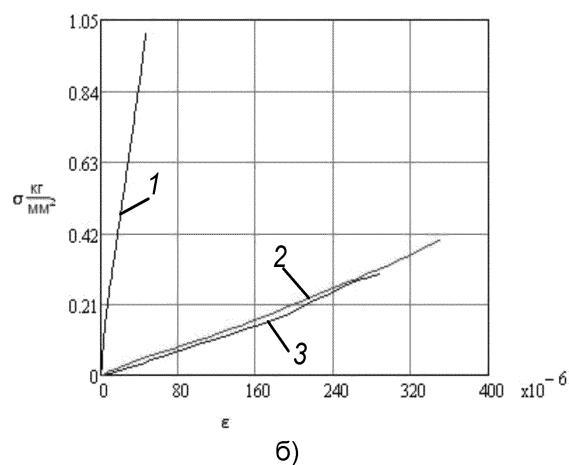
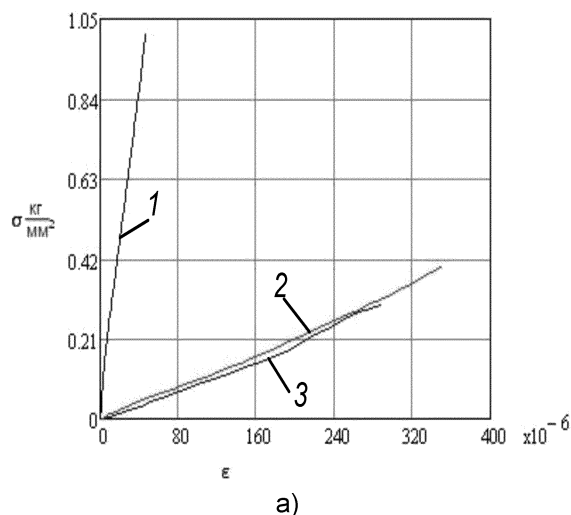


Рисунок 4 – Кривые напряжение – деформация: а – для разных образцов в статическом режиме (1 – сталь; 2 – цемент; 3 – зуб); б – для зуба в разных режимах (1 – в статическом; б – в динамическом)

Таким образом, разработанная установка для изучения прочностных характеристик

пломбирочных материалов позволяет получать закон силового воздействия в цифровом виде, что дает возможность программно модифицировать алгоритмы ее работы и упростить настройку на различные методики испытаний. Введение в установку обратной связи по создаваемому усилию позволяет корректировать закон его изменения как при статических, так и при динамических исследованиях образцов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент на полезную модель №114843 Российская Федерация, МПК А61С19/04. Устройство для прочностных испытаний пломбирочных материалов и пломб дефектных зубов/ Наймушин Ю.Н., Рединова Т.Л., Тимофеев А.А., и др.; заявитель и патентообладатель Ижевский государственный технический университет. – №2011131839/14, заявл. 28.07.2011; опубл. 20.04.2012, бюл. №11.
2. Наймушин, Ю.Н. Моделирование напряженно-деформированного состояния зуба и пломбы с учетом их эмпирических деформационных характеристик / Наймушин Ю.Н., Рединова Т.Л., Шелковников Ю.К. и др. // Вестник ИжГТУ. – 2010, №2.– С.79-83.
3. Ультразвук. Маленькая энциклопедия/ глав. ред. И.П. Голямина. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – С.391-393.:
4. Иванова, Г.Г. Диагностическая и прогностическая оценка электрометрии твердых тканей зубов при кариесе: Авт. дис. канд. мед. наук / Иванова Г.Г. – Омск, 1984. – 209с.
5. Педдер, В.В. Собственное напряженное состояние зуба, возможности и перспективы его использования в стоматологии / Педдер В.В., Леонтьев В.К., Иванова Г.Г. и др. // Институт стоматологии.– 2002, №3. – С.65-67.

Д.т.н., зав. лаб. **Шелковников Е.Ю.**, м.н.с. **Кириллов А.И.** – Институт механики УрО РАН, 89043111501, iit@udman.ru; к.т.н., доц. **Ефремов С.М.** – Ижевский Государственный технический университет, 89058754531, efsemi@mail.ru; д.м.н., проф. **Рединова Т.Л.**, аспирант **Тимофеев А.А.**, аспирант **Метелева Т.Ю.** – Ижевская медицинская академия, (3412)425488, dimitu@deikin.ru