

ФРАКТОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛОМОВ БАЗИСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СЪЕМНЫХ ОРТОДОНТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ПЛАВНОМ НАГРУЖЕНИИ

¹Доменюк Д.А., ¹Карслиева А.Г., ²Рисованный С.И.

¹ГБОУ ВПО СтГМУ Минздрава России, Ставрополь, e-mail: domenyukda@mail.ru
²ГБОУ ВПО КубГМУ Минздрава России, Краснодар, e-mail: stomatologia.fpk@qip.ru

С помощью метода растровой электронной микроскопии в сочетании с фрактографическим исследованием морфологии изломов изучены механические свойства и однородность структуры базисных материалов для съемных ортодонтических аппаратов: "Meliodent RR", "Meliodent HC", "Versyo". Выявлено, что аппараты из светоотверждаемого базисного композитного материала "Versyo" за счет высокой ударной вязкости (прочности), стабильности при циклическом нагружении, значительных пластических свойствах, устойчивости к увеличению образовавшихся микротрещин обеспечивают наиболее выраженные механические свойства в сравнении с аппаратами из базисных пластмасс холодного и горячего типа полимеризации.

Ключевые слова: фрактографическое исследование, ударная вязкость, циклическое нагружение, базисные материалы, съемная ортодонтическая аппаратура

FRACTOGRAPHIC ANALYSIS OF BASE MATERIAL FRACTURE FOR REMOVABLE ORTHODONTIC APPLIANCES UNDER SMOOTH CYCLIC LOADING

¹Domenyuk D.A., ¹Karslieva A.G., ²Risovanny S.I.

¹Stavropol State Medical University, Stavropol, e-mail: domenyukda@mail.ru
²Kuban State Medical University, Krasnodar, e-mail: stomatologia.fpk@qip.ru

Scanning microscopy combined with fracture morphology fractographic analysis were employed to investigate the mechanical properties and homogeneity in base materials used for removable orthodontic appliances "Meliodent RR", "Meliodent HC", "Versyo". The appliances manufactured of the light-cured composite base material "Versyo", if compared to appliances of cold- and hot-cured polymerization base plastics, were found to possess better mechanical properties which could be accounted for by their high impact elasticity (resistance), stability under cyclic loading, significant plastic properties, and resistance to microcrack expansion.

Keywords: fractographic analysis, impact elasticity, cyclic loading, base materials, removable orthodontic appliances

Выявлению механизмов поломки базисных материалов для съемных ортодонтических аппаратов и зубных протезов, а также разработке методов доклинической оценки базисных акриловых пластмасс посвящен ряд работ [1,3,8]. Однако до настоящего времени не представлен комплекс лабораторных тестов, позволяющих установить взаимосвязь между механизмом разрушения, прочностью базисного материала, его химическим составом и структурой [2,9]. В связи с этим, изучение прочностных свойств базисных материалов с использованием современных лабораторных методов является актуальной задачей исследования в области

клинического стоматологического материаловедения, направленное на совершенствование физико-химических параметров и технологий изготовления (обработки) этих материалов, а также дальнейшее успешное применения в клинике ортопедической стоматологии и ортодонтии [4,6].

Согласно современным представлениям, строение усталостных изломов определяется в основном следующими факторами: видом нагружения в процессе зарождения и развития трещины; сопротивлением разрушению конструкции, определяемой ее геометрической формой, свойствами материала и состоянием поверхности; воздействием

факторов внешней среды (функциональной нагрузки) [7].

Задачей фрактографического исследования является идентификация разновидностей поверхностей изломов с учетом всего их многообразия в зависимости от вида нагрузки (статическое, усталостное, ударно-усталостное). Затрудненность анализа поверхностей разрушения акриловых и композитных материалов, обладающих повышенной чувствительностью к концентрации напряжений и малым сопротивлением развитию трещины под воздействием циклического нагружения, обусловлена, с одной стороны, большим разнообразием в проявлениях усталостного разрушения, с другой – недостаточным знанием закономерностей кинетики и механизма развития усталостного повреждения в зависимости от свойств материала, способов упрочнения и условий нагружения [5,10].

Применение фрактографического исследования морфологии изломов с использованием метода растровой электронной микроскопии позволит получить значимые для стоматологического материаловедения данные об особенностях определения природы и разрушения акриловых и композитных базисных материалов, а также их физико-механических свойствах.

Цель исследования – изучение в эксперименте механических свойств и однородности структуры базисных акриловых, композитных материалов по данным растровой электронной микроскопии.

Материалы и методы исследования

Из современной международной классификации ISO 1567:1999 (Стоматология – Материалы для базисов протезов) нами выделены три исследуемые типа базисных материалов, применяющихся для изготовления съемных ортодонтических аппаратов [8]. Материал 1-го типа представлен базисной пластмассой холодного отверждения на основе полиметилметакрилата (ПММА) "Meliodent RR" ("Heraus Kulzer", Германия), относящейся к сополимеру на основе акриловых смол. Порошок – мелкодисперсный, суспензионный ПММА, содержащий инициатор – пероксид бензоила и активатор – дисульфанил; жидкость – метиловый эфир метакриловой кислоты, содержащий активатор – диметилпартолуидин. Экспериментальные образцы были изготовлены методом гидрополи-

меризации на гипсовой основе в аппарате "Ivomar IP3" ("Ivoclar-Vivadent"). Материал 2-го типа представлен базисной пластмассой горячей полимеризации на основе ПММА "Meliodent HC" ("Heraus Kulzer", Германия), принадлежащей к привитым сополимерам на основе акриловых смол. Порошок – мелкодисперсный, суспензионный и привитой сополимер метилового эфира метакриловой кислоты; жидкость – метиловый эфир метакриловой кислоты, содержащий сшивагент – диметакриловый эфир дифенилопропана. Экспериментальные образцы изготовлены методом компрессионного прессования в водяном полимеризаторе "Acrydig 4" ("F. Manfred"). Материал 3-го типа представлен базисным материалом "Versyo" ("Heraus Kulzer", Германия), относящимся к сшитой композитной акриловой пластмассе со структурой взаимопроникающей полимерной сетки. Система мономера представлена смесью мультифункциональных радикалов с высоким молекулярным весом без ПММА. Содержание неорганического наполнителя (SiO₂) – 8%, размер частиц – 0,6-0,8 мкм. Экспериментальные образцы были изготовлены с применением технологии светоотверждения на гипсовой основе с предварительной полимеризацией в аппарате "Heralight" ("Heraus Kulzer") и окончательной полимеризацией в аппарате "Heraflash" ("Heraus Kulzer"). Все образцы полимеризовали при параметрах цикла, указанных фирмой-производителем с последующей шлифовкой и полировкой.

При проведении экспериментального исследования было изготовлено по 15 образцов (ГОСТ 9454-98) каждого из представленных базисных материалов сечением 10×10мм и U-образным надрезом радиусом 1мм. Разрушение образцов с целью изучения прочностных свойств базисных материалов проводилось на маятниковом копре "PSW04/749" со шкалой 0,1кг/м, цена деления прибора составляла 0,001кг/м. Из исследуемых серий ударных образцов было отобрано по одному образцу с характерными видами изломов для каждого из базисных материалов.

Фрактографическое исследование изломов проводилось с применением растрового электронного микроскопа "JSM 6390 LV" (JEOL Ltd, Япония) при увеличении от 26 до 750. На изучаемую поверхность образцов базисных материалов для осуществления фрактографического исследования наносилось сплошное электропроводное покрытие из некоррозирующего материала (платина) толщиной около 100 Å⁰, путем вакуумного напыления. Статистическая обработка результатов исследований проводилась с использованием программы "Microsoft Excel XP", "Statistica 6.0" и включала описательную статистику, оценку достоверности различий по Стьюденту и корреляционный анализ с оценкой достоверности коэффициентов корреляции. При оценке достоверности отличий использовалось значение $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Показатели ударной вязкости (прочности)

акриловых базисных материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели ударной вязкости (прочности) акриловых базисных материалов (KSU кг/см²) (M±m)

Базисные материалы	Тип полимеризации	Значение показателей
Meliudent RR	холодный	0,019±0,002
Meliudent HC	горячий	0,023±0,003
Versyo	световой	0,031±0,004

Анализ результатов проведенных механических испытаний образцов показал, что прочностные показатели композитного акрилового базисного материала светового типа отверждения "Versyo" превышают параметры ударной вязкости (прочности) базисной пластмассы холодной полимеризации "Meliudent RR" на 38,8±1,6%, а аналогичные значения базисной пластмассы горячей полимеризации "Meliudent HC" на 25,8±1,1%.

При фрактографическом исследовании морфологии изломов образцов пластмасс были получены следующие результаты. При изучении изломов образцов на малых увеличениях (×26) направление развития трещины для всех групп базисных материалов – сверху вниз, однако имеются различия в механизмах разрушения. Для композитного базисного материала "Versyo" – вязкое разрушение в 100% сечения образца и отсутст-

вие пор по всей исследуемой поверхности образца. Для базисной пластмассы "Meliudent HC" – хрупко-вязкий ручьистый излом в 10% сечения образца; хрупкое разрушение в 50% сечения образца; в центральной части излома образца отмечались поры размерами от 0,28мм до 1,68мм. Для базисной пластмассы "Meliudent RR" – хрупко-вязкий ручьистый излом в 25% сечения образца; хрупкое разрушение образца в 75% сечения; в центральной части образца отмечались поры различного диаметра от 0,36мм до 2,53мм.

При фрактографическом изучении изломов образцов композитного базисного материала "Versyo" на среднем (×65) и больших увеличениях (×250; ×750) определяется вязкий механизм разрушения при практически полном отсутствии пор (рис. 1), что говорит о значительном сопротивлении материала развитию трещины.



Рис. 1. Излом композитного базисного материала "Versyo". Увеличение ×750

Фрактографическое исследование изломов образцов базисной пластмассы горячей полимеризации "Meliodent HC" на среднем ($\times 65$) увеличении выявило наличие ручьи-стого хрупко-вязкого излома в зоне надреза образца, а также наличие пор размером от 0,01мм до 0,02мм. При изучении изломов на больших увеличениях ($\times 250$; $\times 750$) хрупкое

разрушение образца "Meliodent HC" формировалось только в зоне долома, а хрупко-вязкое разрушение – в зоне надреза (рис. 2) без образования трещин и незначительным наличием пор на поверхности излома размером до 1,83мм, что свидетельствует об устойчивом сопротивлении материала к развитию трещин.

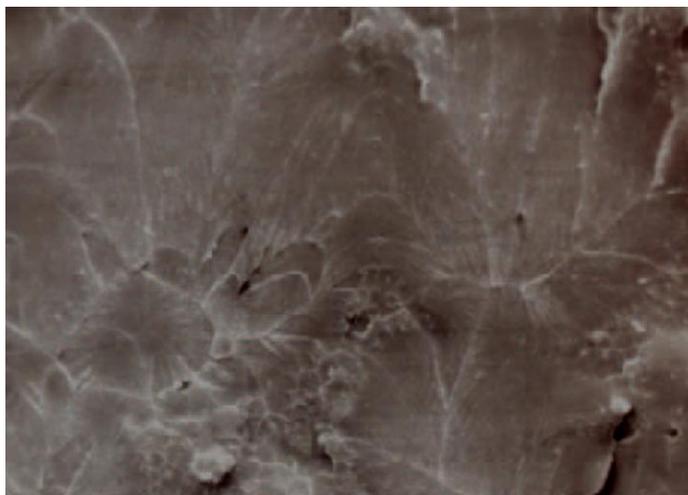


Рис. 2. Излом базисной пластмассы "Meliodent HC". Увеличение $\times 750$

Системный анализ фрактограмм базисной пластмассы холодной полимеризации "Meliodent RR" на среднем ($\times 65$) увеличении установил наличие ветвистого хрупко-вязкого разрушения, стекловидного излома с сеткой трещин, а также наличие пор размером от 0,03мм до 0,05мм. При исследова-

нии изломов на больших увеличениях ($\times 250$; $\times 750$) отмечалось хрупкое разрушение образца "Meliodent RR" с развитой сеткой трещин и наличием на поверхности излома пор размером до 2,86мм (рис. 3), свидетельствующее о незначительной трещи-ноустойчивости базисного материала.

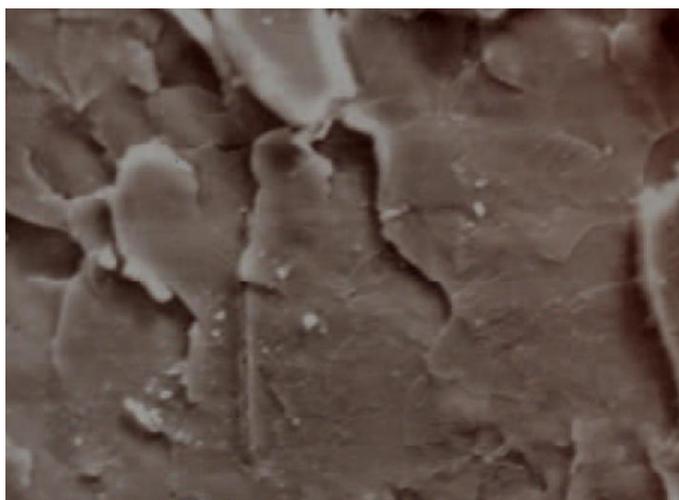


Рис. 3. Излом базисной пластмассы "Meliodent RR". Увеличение $\times 750$

Заключение

Таким образом, использование метода растровой электронной микроскопии в сочетании с фрактографическим исследованием морфологии изломов позволяет дать объективную, достоверную, научно обоснованную оценку особенностей определения микроструктуры и механизмов разрушения базисных материалов, а также их физико-механических свойствах.

Композитный акриловый базисный материал светового отверждения "Versyo" за счет модифицированной смеси мультифункциональных мономеров, имеющих высокий молекулярный вес, а также высокой наполненности частиц неорганического наполнителя (SiO_2) оптимального размера, обладает высокой ударной вязкостью (прочностью), стабильностью при циклическом нагружении, выраженными пластическими свойствами, препятствует увеличению образовавшихся микротрещин. Кроме того, тиксотропность и биологическая совместимость позволят значительно уменьшить побочное действие съемных ортодонтических аппаратов и пластиночных протезов в клинике ортопедической стоматологии и ортодонтии.

Базисные пластмассы холодного "Meliodent RR" и горячего "Meliodent HC" отверждения на основе ПММА обладают менее выраженными пластическими свойствами (хрупкие), имеют тенденцию при циклических нагрузках к образованию внутренних пор, а также склонность к быстрому разрушению материала при формировании микротрещин. Совокупность выявленных показателей позволяет утверждать, что базисные пластмассы холодного и горячего типа отверждения на основе ПММА значи-

тельно уступают композитным акриловым базисным материалам светового отверждения и требуют существенной технологической модификации.

Список литературы

1. Доменюк, Д.А. Исследование свойств поверхности стоматологических облицовочных материалов на основе акриловых пластмасс / Д.А. Доменюк, С.Н. Гаража, В.П. Рогатнев // Российский стоматологический журнал. – 2010. – № 3. – С. 4-8.
2. Доменюк, Д.А. Микроструктурные особенности базисных пластмасс для съемных зубных протезов / Д.А. Доменюк, С.Н. Гаража, Е.Н. Иванчева // Российский стоматологический журнал. – 2010. – № 6. – С. 6-10.
3. Доменюк, Д.А. Применение методов электронной сканирующей микроскопии и лазерной профилометрии для оценки свойств поверхности стоматологических композиционных материалов / Д.А. Доменюк // Российский стоматологический журнал. – 2008. – № 3. – С. 14-18.
4. Попков, В.А. Стоматологическое материаловедение: Учеб. пособие / В.А. Попков, О.В. Нестерова, В.Ю. Решетняк, И.Н. Аверцева. – М.: МЕДпресс-информ, 2006. – 383 с.
5. Поюровская, И.Я. Исследование прочностных свойств полимерных базисных материалов / И.Я. Поюровская, Т.Ф. Сутугина, В.К. Бочарников // Стоматология. – 2007. – № 3. – С. 69-71.
6. Трезубов, В.Н. Ортопедическая стоматология. Прикладное материаловедение: Учебник для медицинских вузов / В.Н. Трезубов, Л.М. Мишнев, Е.Н. Жулев. – М.: МЕДпресс-информ, 2008. – 373 с.
7. Феллоуз, Д. Фрактография и атлас фрактографий: Справочник / Д. Феллоуз // Пер. с англ. под ред. М. Л. Бернштейна. – М.: Металлургия, 2009. – 489 с.
8. International Organization for Standardization. ISO 1567:1999 Dentistry- Denture base polymers. Geneva: International Organization for Standardizations. – 1999.
9. Eysaed, H. Creep studies of multiphase acrylic systems / H. Eysaed, I.E. Ruyter // J. Biomed. Mater. Res. – 2008. – № 23. – P. 719-733.
10. Ruyter, I.E. Flexural properties of denture base polymers / I.E. Ruyter, S.A. Svendsen // J. Prosthet. Dent. – 2008. – № 43(1). – P. 96-104.