

## ИНГИБИРОВАННЫЙ КИСЛОРОДОМ СЛОЙ КОМПОЗИТНОЙ РЕСТАВРАЦИИ ЗУБОВ: СЭМ-АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ УДАЛЕНИЯ

Е.Ю. Пстыга, М.А. Науменко

ГУО Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь

Научный руководитель: к.м.н., доцент Л.А. Казеко

**Резюме.** Для достижения высоких эстетических и механических свойств прямой композитной реставрации необходимо создание гладкой поверхности при финишной обработке, что обуславливает важность удаления ингибирированного кислородом слоя. На основании анализа литературы для исследования были отобраны наиболее распространенные методы: спиртовая обработка, механическая обработка щеткой, щеткой с пастой, бором, а также воздушно-абразивная обработка. В ходе анализа микрофотографий, полученных с помощью сканирующей электронной микроскопии, было установлено, что наиболее эффективной методикой является воздушно-абразивная обработка.

**Ключевые слова:** фотоотверждаемые композиционные материалы, ингибирированный кислородом слой, сканирующая электронная микроскопия.

## OXYGEN-INHIBITED LAYER OF COMPOSITE DENTAL RESTORATION: SEM-ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF VARIOUS REMOVAL METHODS

K.Y. Pstyga, M.A. Naumenko

Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus

Scientific supervisor: Candidate of Medical Sciences, Docent L.A. Kaseko

**Resume.** In order to achieve the highest possible aesthetic and mechanical qualities of direct composite restorations, it is essential to create a smooth surface during the finishing process. This requires the removal of the oxygen-inhibited layer, which is why several methods have been investigated. Based on a review of the literature, several common methods have been selected for further investigation: alcohol treatment, mechanical brushing, brushing with a paste, boron application, and air-abrasive treatment. After analyzing micrographs taken using scanning electron microscopy, it was determined that air-abrasive treatment is the most effective technique.

**Keywords:** Photo-curable composite materials, oxygen-inhibited layer, scanning electron microscopy.

**Введение.** Ингибированный кислородом слой (ИКС), он же дисперсный, дисперсионный слой, является побочным продуктом поверхностного контакта композиционного материала с кислородом атмосферного воздуха во время процесса его полимеризации [1]. Остаточные незаполимеризованные мономеры органической матрицы токсично влияют на мягкие ткани полости рта [2] и пери-реставрационный комплекс [3], а также обладают потенциальной аллергенностью. Липкая поверхность задерживает частицы полировочных паст и инструментов, пищевых пигментов, способствует снижению динамических показателей микротвердости и развитию пост-реставрационного дисколорита [4], что приводит к ухудшению долгосрочных механических свойств и ухудшению эстетики.

**Цель исследования.** Оценить эффективность и целесообразность применения различных методик и средств удаления ИКС с поверхности фотоотверждаемых композиционных материалов на основании данных сканирующей электронной микроскопии.

**Материалы и методы.** В качестве шаблона для создания изучаемых образцов-столбиков была смоделирована окружная силиконовая форма (Elite HD+, Zhermack), которая была заполнена композиционными материалами: пакуемый материал G-aenial Posterior (GC), текучий материал Filtek Bulk Fill (3M ESPE) (Рисунок 1).

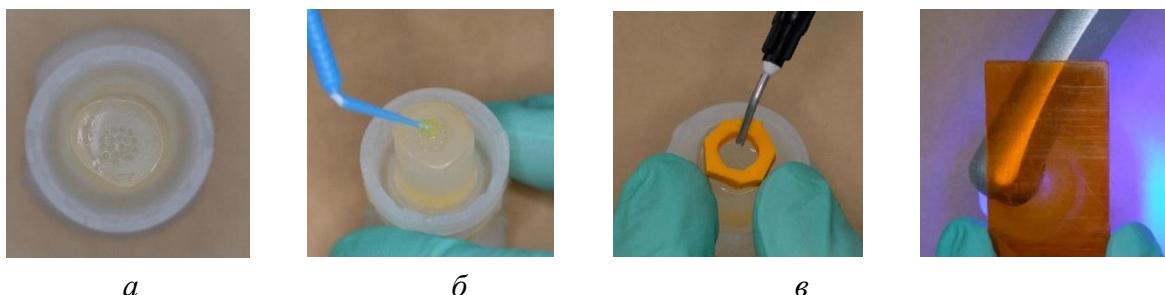


Рисунок 1 – Моделирование образцов из композиционных материалов  
а) полимерная подставка; б) нанесение адгезива; в) внесение материала в силиконовую форму; г) полимеризация

Для удаления ИКС были выбраны методы: механическая обработка алмазным бором желтой маркировки, механическая обработка сухой ротационной нейлоновой щеткой, щеткой с пастой ПолирПаст-Д (Omega-Dent), химическая обработка 70%-м раствором этилового спирта с экспозицией 5, 10 и 20 секунд и воздушно-абразивная обработка порошком Rhapsody Flow (NaHCO<sub>3</sub>, 40 мкм). Эталонная поверхность образцов композиционных материалов, не подверженная кислородному ингибирированию, была получена путем механического разлома отверженных цилиндрических заготовок и отбора неповрежденных фрагментов. Все образцы сканировались с помощью СЭМ (TeScan MIRA3,  $\times 100$ - $\times 5000$ ) и были разделены на 3 группы: 1-ая

контрольная с сохраненным ИКС (Рисунок 2), 2-я контрольная с эталонными образцами (Рисунок 3), основная группа с обработанными образцами.

**Результаты.** Анализ микрофотографий сканируемых поверхностей образцов показал, что в



Рисунок 2 – Образец  
1-й контрольной группы



Рисунок 3 – Образцы 2-й контрольной группы



1-ой контрольной группе дисперсный слой визуализируется как аморфное и гомогенное покрытие, повторяющий текстуру композита за счет выступающих частиц неорганического наполнителя (Рисунок 4).

Анализ образцов второй контрольной группы выявил деформацию поверхности текучего материала под механическим воздействием, обусловленную его повышенной эластичностью (Рисунок 5, а). На полученных микрофотографиях, независимо от увеличения, не удалось идентифицировать границы частиц неорганического наполнителя, наблюдается чешуйчатая структура органической матрицы. Учитывая это, для корректного сравнения с опытными группами при дальнейшем сравнительном анализе использовались микрофотографии материала G-aenial (Рисунок 5, б).

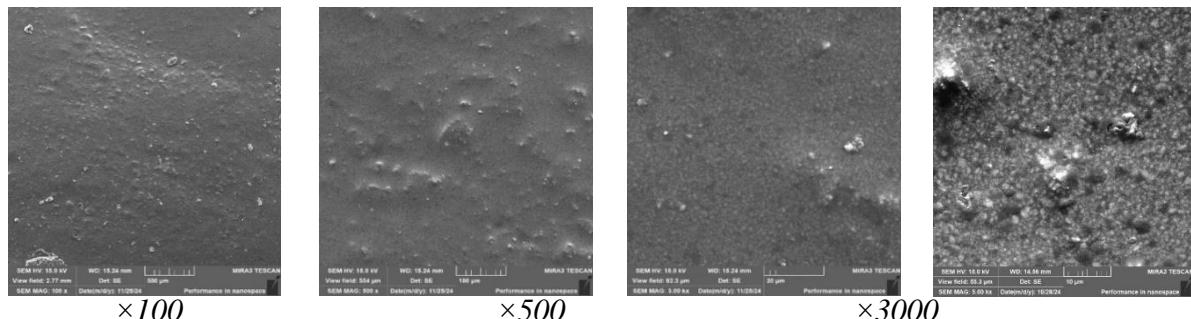


Рисунок 4 – Микрофотографии 1-й контрольной группы, Bulk Fill

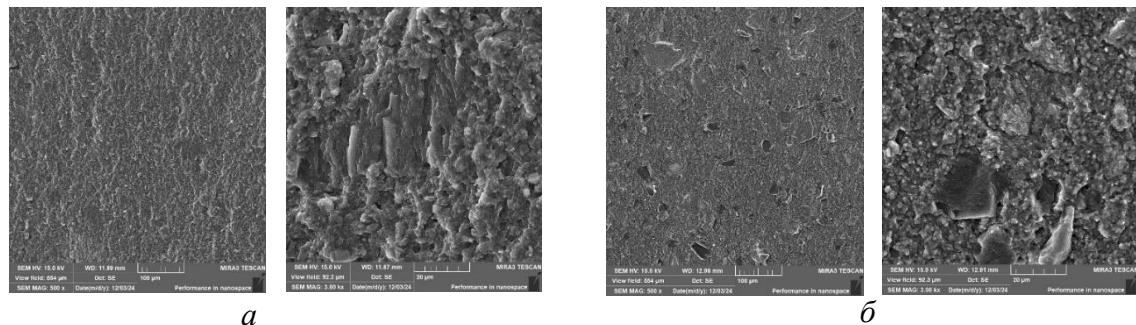


Рисунок 5 – Микрофотографии 2-й контрольной группы  
а) Bulk Fill: x500, x3000, б) G-aenial: x500, x3000

Обработка

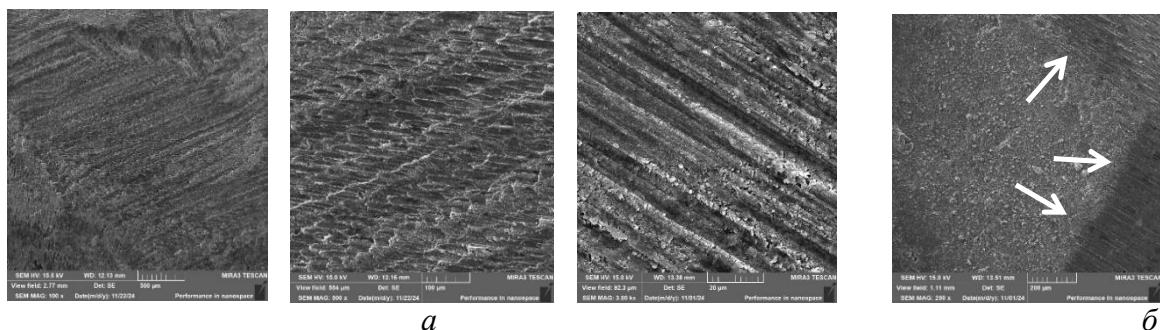


Рисунок 6 – Микрофотографии основной группы: алмазный бор  
а) G-aenial: ×100, ×500, ×3000; б) Граница необработанного участка, Bulk Fill: ×250

алмазным бором привела к полному удалению ингибионного слоя, но сопровождалась значительным повреждением поверхности материала (Рисунок 6-а). Также была отмечена неравномерность обработки: на микрофотографиях визуализируются границы необработанных участков (Рисунок 6-б).

Химическое удаление ИКС определено как неполное и неравномерное, при этом различное время экспозиции вещества на поверхности образцов не существенно повлияло на интенсивность растворения (Рисунок 7). На микрофотографиях после применения ротационной щетки с пастой при увеличении ×100 определяется более равномерное и полное удаление дисперсного слоя по сравнению со спиртом (Рисунки 7, 8).

По сравнению с щеткой и пастой, сухая ротационная щетка имела более и интенсивное механическое воздействие: на микрофотографиях поверхность образцов композиционного

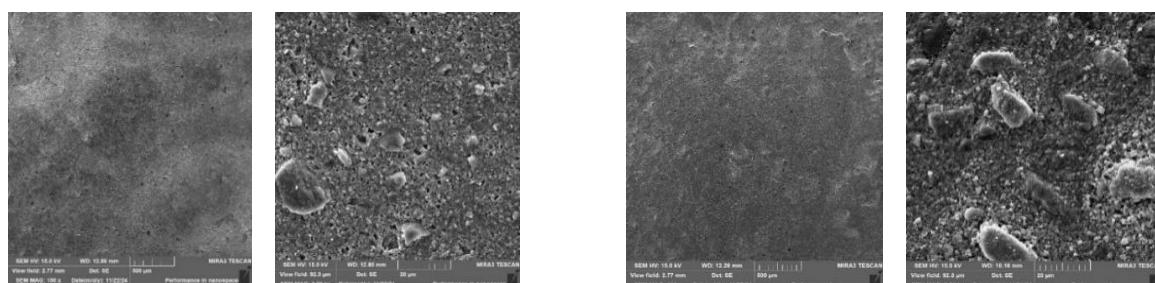


Рисунок 7 – Микрофотографии основной группы: спиртовая обработка  
G-aenial: ×100, ×3000

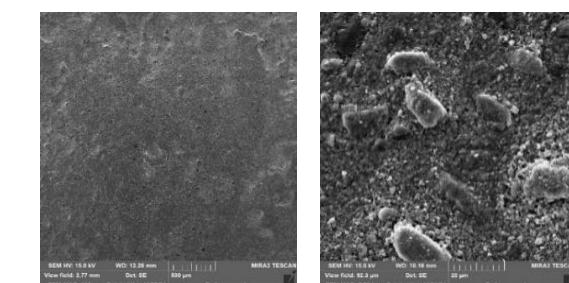


Рисунок 8 – Микрофотографии основной группы: щетка и паста  
G-aenial: ×100, ×3000

материала определяется как более сглаженная, не визуализируются частицы наполнителя, прослеживаются линии движения инструмента (Рисунок 9).

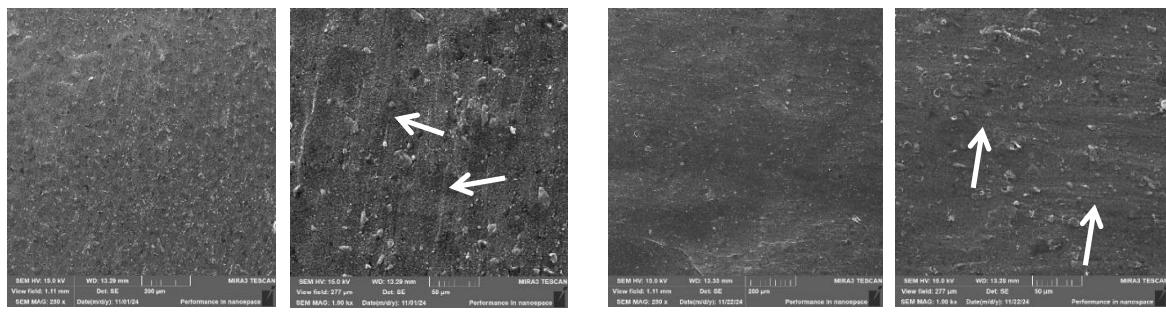


Рисунок 9 – Микрофотографии основной группы: сухая щетка  
а) Bulk Fill:  $\times 250$ ,  $\times 1000$ ; б) G-aenial:  $\times 250$ ,  $\times 1000$   
Стрелками обозначены борозды от щетинок

После применение воздушно-абразивной обработки была отмечена наибольшая равномерность удаления дисперсного слоя (Рисунок 10). Поверхность образцов после обработки демонстрирует полноценное удаление ИКС и высокую степень однородности, близкую к показателям 2-й контрольной группы (Рисунок 5-6).

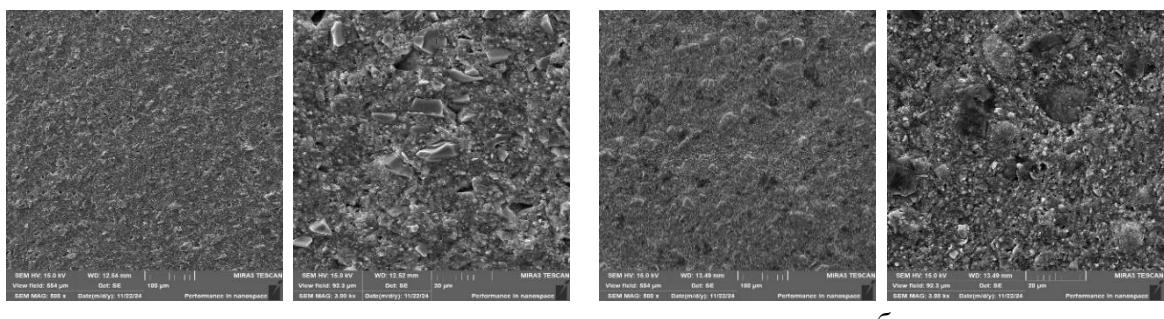


Рисунок 10 – Микрофотографии основной группы:  
воздушно-абразивная обработка  
а) G-aenial:  $\times 500$ ,  $\times 3000$ ; б) Filtek Bulk Fill:  $\times 500$ ,  $\times 3000$

**Обсуждение.** Применение алмазного бора требует точного контроля усилия и корректного подбора геометрии рабочей части инструмента, что особенно затруднено для реставраций со сложной морфологией. Желтая маркировка бора соответствует размеру алмазных частиц 10–36 мкм по ISO, что обуславливает высокий риск избыточного поверхностного удаления материала и нарушения окклюзионных контактов. Учитывая совокупность выявленных недостатков, алмазный бор не может быть рекомендован для удаления дисперсионного слоя.

Применение ротационной щетки с пастой показало лучшие результаты по сравнению с химическим методом. Полировочная паста «ПолирПаст-Д сухой блеск» содержит алмазный субмикропорошок фракцией 1,0–0,5 мкм в водорастворимой основе на основе полиэтиленгликоля-400 и полиэтиленгликоля-1500, что обеспечивает щадящий режим обработки поверхности и полное удаление ее остатков водой. Продемонстрирована достаточная эффективность даже при использовании следовых количеств пасты.

Равномерность удаления дисперсионного слоя при использовании сухой щетки и щетки с пастой сопоставима, воздействие ограничено зоной контакта инструмента с поверхностью, однако метод сухой щетки является, по нашему мнению, экономически более выгодным вследствие большей доступности, а также оказывает дополнительный сглаживающей эффект для последующих этапов шлифовки и полировки композитной реставрации.

Струя при воздушно-абразивной обработке охватывает большую площадь поверхности, позволяя обрабатывать труднодоступные области, например, при реставрации полости II класса по Блэку, а также I класса с фиссурами 2-го и 3-го порядка. Несмотря на то, что размер частиц порошка (40 мкм) превышает размер абразивных частиц бора (10–36 мкм), метод Air-Flow не вызывает значительных механических повреждений поверхности. Среди недостатков метода были отмечены экономическая затратность по оборудованию и материалам, а также необходимость дополнительной защиты от аспирации порошка больного и ассистента.

В таблице 2 представлены сводные результаты, отражающие сравнительный анализ поверхностей образцов контрольных и опытной групп, а также корреляцию между толщиной кислородно-ингибирированного слоя и абразивной способностью исследованных инструментов.

Таблица 2. Результаты сравнительного анализа микрофотографий образцов

	Равномерность удаления	Полнота удаления	Степень повреждения	Доступность метода	Легкость в исполнении
Алмазный бор	–	+++	+++	+	–
70% раствор этанола	+	+	–	+	+
Воздушно-абразивная обработка	+++	+++	+	–	–
Ротационная щетка	++	+++	+	+	+
Ротационная щетка с пастой	++	++	–	+/-	+

Примечание: + – эффект положительный разной степени; – – эффект отрицательный.

**Выводы.** Удаление ингибирированного кислородного слоя является обязательным этапом финишной обработки прямой композитной реставрации, определяющий ее долговременные эстетические и функциональные характеристики. Согласно результатам исследования, наиболее эффективным методом удаления ИКС является воздушно-абразивная обработка. В качестве более доступных и экономически целесообразных альтернатив могут быть рекомендованы обработка сухой нейлоновой ротационной щеткой, а также щеткой с полировочной пастой.

### Список литературы

1. Николаев А.И. Практическая терапевтическая стоматология : учеб. пособие /А.И. Николаев, Л.М. Цепов. - 12-е изд. - Москва.: МЕДпресс-информ, 2022. - 928 с.

2. Rohr N. Influence of surface treatment and curing mode of resin composite cements on fibroblast behavior / N/ Rohr, C. Baumann, S. Märtin, N. U. Zitzmann // Head & Face Medicine. – 2022. – Vol.18, №18. – P. 18-25.
3. Дедова Л. Н., Денисова Ю. Л., Соломевич А. С. Особенности реставрации твердых тканей зубов у пациентов с болезнями периодонта : учебно-методическое пособие / Л. Н. Дедова, Ю. Л. Денисова, А. С. Соломевич. – Минск : БГМУ, 2022. – 28 с. А. С. Соломевич. – Минск : БГМУ, 2022. – 28 с.
4. Таиров В.В. Сравнительная характеристика средств, предотвращающих появление ингибионного слоя на поверхности композита / В. В. Таиров, А.А. Арутюнова, К.К. Егунян, И.О. Камышникова, В.А. Иващенко, С.И. Рисованный // Кубанский научный медицинский вестник. – 2018. – Т. 25. – №. 5. – С. 98-103.