

Повышение износостойкости вращающегося медицинского алмазного инструмента путем модификации режущей поверхности

Л. В. Половнева, В. П. Чуев

Предложен усовершенствованный способ изготовления стоматологического бора с упрочненными эксплуатационными характеристиками, с добавлением в технологию этапа электрохимического травления нанесенного рабочего слоя и введением упрочняющего каркасного слоя абразива, что дает значительное преимущество по производительности в сравнении со стандартным бором.

Ключевые слова: медицинский вращающийся инструмент, металлическая связка, гибридный алмазный инструмент, модифицированная металлическая связка, износостойкость

УДК 621.9.02 | ВАК 2.5.5
DOI: 10.22184/2499-9407.2022.28.3.80.84

Введение

Медицинский алмазный режущий вращающийся инструмент (медицинский бор) является неотъемлемой частью работы врача-стоматолога. От качества инструмента зависит скорость и качество работы, комфорт и удовлетворенность пациента. Одной из основных характеристик стоматологического бора является удерживающая способность алмазного зерна в связке [1]. Рабочая часть современного стоматологического вращающегося абразивного инструмента представляет собой гальваническое алмазное покрытие. Метод основан на упорядочивании теплового броуновского движения частиц под действием электрического тока и, соответственно, осаждения их на поверхности заготовки. В качестве абразивного зерна используется натуральный алмаз. По минералогической шкале твердости

Мооса алмаз является эталоном твердости (10 баллов из 10 возможных). Особо высокую твердость придает ему кубическая форма кристаллической решетки. В процессе работы стоматологическим бором с натуральным алмазом, на кромке грани алмазного зерна происходит микроскалывание, которое создает новую режущую грань. В результате инструмент обладает свойством самозатачивания, что продлевает его срок службы [2].

При равномерном нанесении рабочего алмаза и при выдержанной геометрии металлической заготовки, радиальное биение инструмента будет близко к нулю. При потере алмазного зерна из связки, нарушается балансировка инструмента и повышаются вибрационные нагрузки на обрабатываемую поверхность. Вследствие этого качество препарирования ухудшается. Возникает необходимость

усовершенствовать стандартную технологию производства инструмента, внедряя в металлическую связку абразивное зерно меньшего размера. Мелкозернистый абразив будет создавать каркас для крупного рабочего алмаза и препятствовать его выпадению при препарировании, распределяя нагрузку по металлической связке. При этом необходимо регулировать плотность покрытия рабочей части алмазным зерном.

Разработки в этой области проводят многие научные лаборатории. Известен стандартный способ изготовления абразивного инструмента электрохимическим методом в гальванической ванне, при котором на металлическом корпусе в слое гальванически осажденного никеля закрепляют зерна алмаза толщиной примерно 1/5 размера зерен, что достаточно для прикрепления одного слоя алмазов. Затем переносят в гальваническую ванну для наращивания слоя никеля настолько, чтобы не менее 2/3 среднего размера зерен были закреплены в металле [3]. Описанный способ не обеспечивает высокого ресурса работы инструмента: алмазное зерно механически удерживается в связке и по мере износа связки алмаз под воздействием усилий, возникающих при работе инструмента, выпадает. Также, при данном способе изготовления, плотность распределения алмазов на поверхности инструмента максимальна и алмазы расположены в один слой. Это приводит к залипанию (засаливанию) инструмента и, соответственно, к потере его режущей способности и затруднению очистки и стерилизации. Данный способ производства не обеспечивает достаточной износостойкости.

Существует способ, при использовании которого предлагается на корпусе рабочей части инструмента закреплять крупные алмазные зерна первым слоем связки толщиной 0,2–0,4 их размера. Затем закрепить алмазные зерна мелкой зернистости вторым слоем связки толщиной 0,3–0,5 их размера. И в завершение нанести слой связки, содержащей наноалмазные порошки, до уровня вершин мелких алмазных зерен [4]. Данный способ увеличивает контакт никелевого слоя с обрабатываемой поверхностью, что приводит к снижению износостойкости. А одним из направлений увеличения срока эксплуатации инструмента является максимальная защита никелевой связки от износа.

Другой способ изготовления алмазного инструмента заключается в одновременном нанесении алмазных зерен двух зернистостей на корпус инструмента, при этом размер алмазных зерен меньшей зернистости составляет примерно 70–75% от размера крупных зерен [5]. В результате изготовления абразивного инструмента данным способом, зерна меньшего размера выступают над уровнем связки. Данный способ обеспечивает плотное расположение алмазных зерен мелкой зернистости на корпусе инструмента, уменьшая износ связки. Но при одинаковой силе тока трудно равномерно зарастить рабочую часть заготовки крупным алмазом, так как сначала зарастивание пройдет

преимущественно мелким алмазом. При этом распределение рабочего алмаза по режущей поверхности бора будет неоднородно.

Изготовление алмазного режущего медицинского инструмента на данный момент является актуальной проблемой, которую необходимо решать предложением нового усовершенствованного способа изготовления инструмента.

Материалы и методы

Целью данного исследования стало подтверждение необходимости использования усовершенствованного способа изготовления абразивного инструмента. Для повышения эксплуатационных характеристик медицинского бора было предложено ввести в металлическую связку рабочей части абразивного вращающегося медицинского режущего инструмента мелкую фракцию, которая послужит для рабочего алмаза каркасом. Для подтверждения целесообразности необходимо было решить следующие задачи:

- предложить этапы усовершенствования существующего стандартного способа производства медицинского вращающегося инструмента на гальванической связке;
- провести сравнительный анализ стандартного бора (886.104.126.080.016) и модифицированного (886.104.126.080.016g), исследуя производительность, износ, режущую способность и износостойкость.

Сравнительный анализ режущей способности, износа, производительности, износостойкости рабочей части проводили по стандартным (ГОСТ Р ИСО 7711-1-2010 «Инструменты стоматологические вращающиеся. Инструменты алмазные») и разработанным методикам. Для исследования брали выборку из 10 единиц каждого типа размера исследуемых образцов.

При трибологических испытаниях в качестве обрабатываемой поверхности использовали эмаль зубов.

Засаливаемость рабочей части бора определяли по формуле:

$$\Delta m_3 = m_1 - m_2, \quad (1)$$

где m_1 – масса инструмента после резания; m_2 – масса инструмента после резания обрабатываемой поверхности и очистки от шлама в ультразвуковой ванне в течение 3 мин.

Глубину, пройденную рабочей частью бора за промежуток времени при резании обрабатываемой поверхности, оценивали как режущую способность.

Износ оценивали изменением диаметра Δd рабочей части и массы Δm обработанного инструмента. Массу определяли на весах специального класса точности с погрешностью измерения 0,0003 г.

Способность металлической связки удерживать абразивное зерно на рабочей поверхности считали износоустойчивостью, которую оценивали визуально посредством цифрового микроскопа и настольного растрового электронного микроскопа-микроанализатора TM3030 HITACHI. При частичной потере алмазных зерен с поверхности рабочей части инструмента считали конечное время износоустойчивости бора.

Производительность стоматологического инструмента определяли как массовую долю срезанного слоя эмали после каждого воздействия бором на эмаль в течение 1 мин (Δm) от начала резания. Таким образом, взвешивали зуб до резания (m_0) и после каждой минутной обработки зуба бором (m_{n+1}), затем находили разницу масс.

Испытание проводили на стенде, имитирующем реальные условия нагружения и износа вращающегося инструмента при сверлении пластин. Скорость вращения бора 5 000 об/мин, усилие 4 Н.

Результаты

Основным направлением при усовершенствовании способа производства стоматологического инструмента рассматривали поэтапное нанесение на корпус металлической заготовки бора алмазного зерна разной зернистости. При этом крупный алмаз (200–160 мкм) выполнял роль режущего элемента стоматологического инструмента, а мелкий алмаз (63–50 мкм) создавал плотный каркас для удержания крупного алмазного зерна. На очищенную металлическую заготовку инструмента гальванически наносили крупный рабочий алмазный порошок. На данном этапе, при непосредственном контакте абразива с поверхностью металла, никелевая связка удерживает все частицы, контактирующие с заготовкой, за счет чего может возникнуть

наслоение частиц порошка друг на друга. При нанесении порошка большей зернистости необходимо создать достаточное межалмазное пространство для обеспечения более высокой плотности укладки мелкого порошка и создания более прочного каркаса. Для удаления налипших или слабо закрепившихся крупных алмазных зерен, которые препятствуют нанесению абразива мелкой фракции, после первого этапа проводят электрохимическое протравливание в электролите с серной кислотой. На освободившееся пространство закрепляют гальваническим никелем каркасное зерно абразива глубиной 0,2 размера зерна. Размер каркасного вспомогательного зерна должен составлять 1/3 размера крупного алмаза. Заравнивают нанесенные алмазные слои металлическим никелем на 2/3 размера алмазного порошка мелкой фракции. В результате крупная фракция алмазных зерен на 60–70% выступает над слоем связки и является основной рабочей фракцией [6]. При этом рельеф рабочей поверхности контролируется под микроскопом на каждом этапе технологического процесса (рис. 1, 2).

Для сравнительного анализа эксплуатационных характеристик были проведены испытания исследуемых образцов стандартного и гибридного боров по 10 шт. каждого (табл. 1). Обработывали эмаль зуба, закрепленного в гипсовую модель (далее – обрабатываемая поверхность) на установке, имитирующей реальные условия стоматологического оборудования. Расстояние, пройденное исследуемыми борами за 1 мин резания эмали, определили

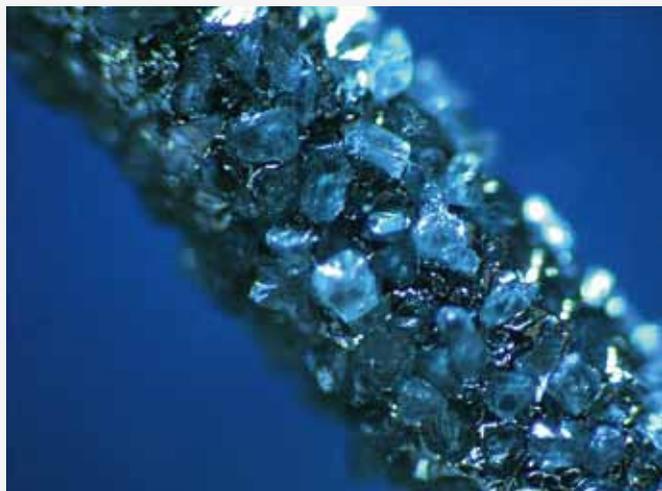


Рис. 1. Рабочая часть медицинского бора, снятая посредством цифрового микроскопа, $\times 40$

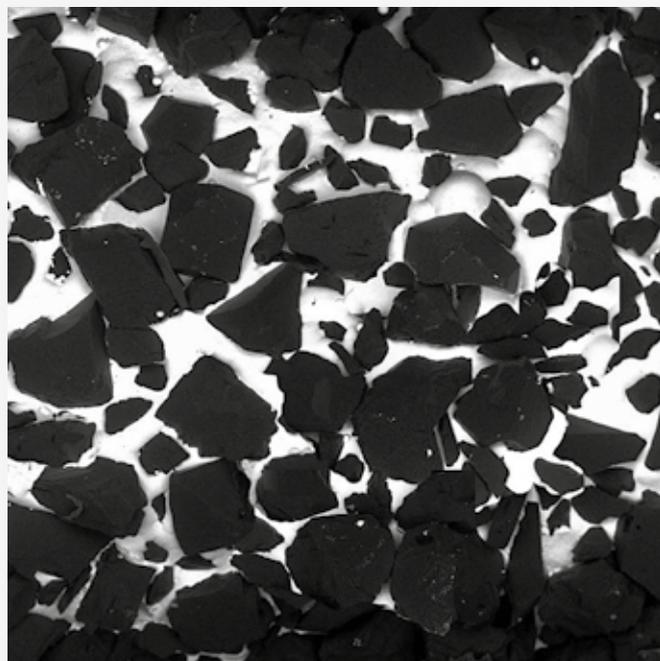


Рис. 2. Рабочая часть медицинского бора, снятая посредством растрового микроскопа-микроанализатора TM3030 HITACHI, $\times 100$

Таблица 1. Характеристики стандартных и гибридных боров алмаз-алмаз при обработке эмали

Анализируемый параметр	Наименование образца	
	Стандартный инструмент 886.104.126.080.016 (алмазное зерно 200–160 мкм)	Гибридный инструмент 886.104.126.080.016g (алмазное зерно 200–160 / 63–50 мкм)
Режущая способность за 1 мин, мм	5,83 ± 0,31	10,61 ± 0,29
Износ Δm , мг	1,1 ± 0,1	0,6 ± 0,2
Износ Δd , мкм	95 ± 4	23 ± 4
Износостойкость, мин	4,0 ± 0,5	10,0 ± 1,0
Производительность при резании Δm , %		
1 мин	0,085 ± 0,002	0,091 ± 0,001
2 мин	0,152 ± 0,002	0,177 ± 0,002
3 мин	0,180 ± 0,001	0,242 ± 0,002
4 мин	0,194 ± 0,003	0,357 ± 0,003
5 мин	0,215 ± 0,001	0,395 ± 0,002
6 мин	0,216 ± 0,002	0,414 ± 0,001
7 мин	–	0,425 ± 0,001
8 мин	–	0,431 ± 0,002
9 мин	–	0,443 ± 0,002
10 мин	–	0,450 ± 0,001
11 мин	–	0,456 ± 0,003
12 мин	–	0,458 ± 0,001

как режущую способность (работоспособность) инструмента. При определении износа рабочей части инструмента определяли диаметр и массу исследуемых образцов до и после резания. Потерю массы Δm и уменьшение линейных размеров Δd рассматривали как характеристики износа. Способность абразивной части инструмента сопротивляться обрабатываемой поверхности рассматривали в качестве износостойкости. Определение данного параметра проводили посредством микроскопа, контролируя внешний вид рабочей части на наличие потери абразивных зерен. Частичную потерю алмазных зерен считали окончанием временного ресурса боров и конечным временем износостойкости. Для оценки производительности боров определяли разницу масс зуба, в гипсовом блоке до и после минутной обработки исследуемым инструментом.

При сравнении параметров исследуемых образцов видно, что износостойкость боров, изготовленных предлагаемым методом, увеличена по сравнению с образцами, изготавливаемыми по стандартной методике, изученной ранее. Это подтверждается результатами исследования производительности. При контроле рабочей поверхности под микроскопом наблюдается потеря алмазных зерен на четвертой минуте. После пятиминутной резки масса обрабатываемой поверхности не изменилась.

После десяти минут резания гибридными борами зернистостью 200–160 / 63–50 мкм рабочая часть инструмента частично сохраняет работоспособность. Микроскопические исследования поверхности абразивной части гибридного инструмента показали частичную потерю алмазов. При сравнении производительности стандартного и гибридного алмазных инструментов видно, что бор с модифицированной поверхностью срезает обрабатываемую поверхность зуба в два раза больше. Оценка проводилась на пятой минуте резания. Эти выводы подтверждает и определение режущей способности. При резании эмали зуба в течение одной минуты стандартный инструмент 886.104.126.080.016 проходит расстояние в два раза меньшее, чем гибридный 886.104.126.080.016g. Рассмотрение величины износа также подтверждает преимущество гибридного вращающегося режущего инструмента над стандартным.

Обсуждение

Ранее полученные результаты анализа производительности режущего стандартного инструмента, выполненного врачами-стоматологами, показали 30%-ное снижение производительности после препарирования 10–15 жевательных зубов. При этом интенсивность износа гибридного абразивного инструмента в два раза ниже, чем у стандартного, что обуславливает возможность препарирования 20–30 жевательных зубов [7]. Результаты, полученные при анализе производительности в данной работе, подтверждают выводы, сделанные врачами-стоматологами, и свидетельствуют о 50%-ном увеличении производительности гибридных боров. Результаты анализа трудозатрат

на препарирование зубов, приведенные в исследовании И. В. Овчинникова, показали, что препарирование зубов стандартным инструментом происходит на 5% дольше, чем гибридным инструментом. Относительный износ стандартных боров в два раза превышает результаты износа гибридного бора. Лабораторные исследования подтверждают выводы клинического исследования. При сравнении показателей трудозатрат и режущей способности видна положительная динамика результатов исследования гибридного режущего инструмента. При этом анализ показателей лабораторных исследований дает более четкую отличительную картину.

Выводы

Контролируемый рельеф рабочей поверхности медицинского бора, произведенного предложенным способом, минимизирует контакт гальванической связки инструмента с обрабатываемой поверхностью за счет выступа алмазного зерна мелкой фракции над поверхностью связки. Это приводит к снижению трения металлической связки об обрабатываемую поверхность, минимизации нагревания инструмента и увеличению срока службы металлической связки. А уменьшение количества алмазных зерен крупной зернистости на рабочей поверхности инструмента минимизирует засаливание инструмента за счет улучшенного отхождения шлама. При этом режущая способность, продолжительное и продуктивное использование инструмента возрастают. При равномерном распределении зерен обеспечивается точность выполняемых работ.

В отличие от способа изготовления абразивного инструмента, в матрицу которого внесены наночастицы, выступающие на поверхности никелевой связки рассматриваемого гибридного инструмента, частички абразива, выступающего в роли «каркасного», минимизируют контакт никелевого слоя с обрабатываемой поверхностью. В результате изготовления абразивного инструмента предлагаемым способом, в отличие от способа, описанного Кодзи Тории, получаем бор, на рабочей части которого порядка 60% поверхности занимают алмазные зерна крупной зернистости. При этом распределение рабочего алмаза по режущей поверхности бора однородно за счет включения в производственный процесс этапа электрохимического травления.

Клинические испытания, проведенные врачами стоматологической поликлиники, дали положительную оценку исследуемым образцам боров. Было подтверждено повышенное время предельно допустимого износа при проведении лабораторных этапов изготовления съемных и несъемных протезов. После препарирования 15 зубов врачи пришли к выводу, что интенсивность снижения производительности гибридных боров в два раза ниже стандартных [8].

Выводы подтверждают необходимость использования в производственном процессе усовершенствованного способа изготовления абразивного инструмента. Введение в металлическую связку каркасного абразивного порошка мелкой зернистости, а также введение в технологический процесс стадии протравливания нанесенного слоя крупного порошка приводят к увеличению производительности, режущей способности, износостойкости, снижению износа изготовленного инструмента. Поставленные задачи позволили сделать объективные выводы по исследуемому направлению в полном объеме.

Литература

1. **Янюшкин А. С., Лобанов Д. В., Скиба В. Ю., Гартфельдер В. А., Секлетина Л. С.** Повышение эффективности алмазного инструмента на металлической связке при шлифовании высокопрочных материалов // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. 2017. № 3. С. 17–27.
2. **Половнева Л. В., Чуев В. П.** Инновационный способ производства абразивного инструмента на гальванической связке. Материалы по итогам 1-ой Всероссийской научно-практической конференции «Современная наука в XXI веке: актуальные вопросы, достижения и инновации», 2018, Россия.
3. **Ковальчук Ю. М.** Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента. М.: Машиностроение, 1984.
4. **Полушин Н. И., Маслов А. Л.** Патент 2524295. Способ изготовления алмазного инструмента на гальванической связке. Заявка № 2013125280; заявл. 31.05.2013; опубл. 27.07.2014, Бюл. № 21. Российская Федерация.
5. **Кодзи Тории** Патент US6306025B1 Dressing tool for the surface of an abrasive cloth and its production process. 2001, Japan
6. **Половнева Л. В., Чуев В. П., Бузов А. А.** Пат. 2647723 С1. Способ изготовления алмазного инструмента. Заявка № 2017121231 заявл. 16.06.2017; опубл. 19.03.2018, Бюл. № 8. Российская Федерация.
7. **Овчинников И. В.** Сравнительная оценка эффективности клинического применения стандартных и гибридных алмазных боров // *Клиническая стоматология*. 2019. С. 23–25.
8. **Овчинников И. В.** К вопросу о времени износа стандартных и гибридных алмазных боров фирмы «ВладМиВа» // *Стоматология*. Т. 98. № 6. Вып. 2. С. 124–130.

Авторы

Половнева Лилия Васильевна –

начальник ОТК опытно-экспериментального завода «ВладМиВа» (Белгород)

Чуев Владимир Петрович –

доктор технических наук, директор опытно-экспериментального завода «ВладМиВа» (Белгород)



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



Цена 2 600 руб.

Ян Гибсон, Давид Розен, Брент Стакер

ТЕХНОЛОГИИ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА. Трехмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство

Перевод с англ. книги издательства «Springer»
под ред. д.ф.-м.н., проф. И.В. Шишковского
М.: ТЕХНОСФЕРА, 2020. – 648 с. ISBN 978-5-94836-447-6

Предисловие к русскому изданию

Я был очень рад, когда услышал, что профессор Игорь Шишковский будет научным редактором русского издания нашей монографии. Обладая многолетним и богатым опытом в данной области, этот известный ученый и педагог сможет гарантировать как техническую точность, так и ясность изложения. Поскольку русский язык является одним из самых распространенных языков в мире, этот перевод позволит значительно расширить аудиторию, которая сможет впервые получить доступ к данной информации. Я надеюсь, что исследователи, студенты и преподаватели найдут эту книгу прекрасным дополнением к своей коллекции, и что она расширит их познания в быстро развивающихся областях аддитивных технологий.

Брент Стакер
профессор, университет Луисвилля (Кентукки, США)

Содержание

Предисловие

Глава 1. Введение и описание основных принципов

Глава 2. Развитие технологий АП

Глава 3. Общая последовательность процесса АП

Глава 4. Процесс фотополимеризации в ванне

Глава 5. Плавление порошков в сформированном слое

Глава 6. Экструзионные системы

Глава 7. Распыление материала методом струйной печати

Глава 8. Распыление связующего для струйной печати

Глава 9. Процессы ламинирования листовых (слоистых) материалов

Глава 10. Процессы направленного энерговклада

Глава 11. Технологии прямой записи

Глава 12. Преимущества бюджетных систем АП

Глава 13. Руководство по выбору процесса

Глава 14. Постобработка

Глава 15. Задачи программного обеспечения в АП

Глава 16. Прямое цифровое производство

Глава 17. Проектирование для АП

Глава 18. Быстрое изготовление инструмента

Глава 19. Применения АП

Глава 20. Возможности для бизнеса и будущее АП



**ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ:
www.technosfera.ru**

Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91
По телефону: (495) 234-01-10
E-mail: knigi@technosfera.ru
sales@technosfera.ru