

ФОРМИРОВАНИЕ СТАБИЛЬНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА рабочей поверхности как форма износа алмазного бора

А.В.Цимбалистов

• д.м.н., профессор, засл. врач РФ, зав. кафедрой ортопедической стоматологии, НИУ «БелГУ»
Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
Тел.: +7 (4722) 301-311
E-mail: tsimbalistov@bsu.edu.ru

А.А.Копытов

• к.м.н., к. соц. н., доцент кафедры ортопедической стоматологии, НИУ «БелГУ»
Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
Тел.: +7 (980) 373-88-82
E-mail: kopytov@bsu.edu.ru

И.В.Овчинников

• соискатель кафедры ортопедической стоматологии, НИУ «БелГУ»
Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
Тел.: +7 (4722) 301-311

Л.В.Полownева

• аспирант кафедры информационных технологий и робототехнических систем, НИУ «БелГУ»
Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
Тел.: +7 (4722) 301-311

Резюме. Повышение эффективности формирования культи опорных зубов не может реализовываться путём подбора режимов резания и оптимизации состава охлаждающего аэрозоля. По этой причине достижение искомого качества препарирования зубов возможно только за счёт реализации инновационных подходов к технологии изготовления ротационных инструментов. В статье приводятся результаты, полученные при апробации нового класса ротационного инструмента — гибридных боров. В процессе проведения сравнительной оценки износостойкости стандартных и гибридных алмазных боров препарировались жевательные зубы, укрепленные в гипсоблоки. На основании динамики концентрации алмазных зёрен на рабочей поверхности боров сделан вывод о выделении двух периодов в процессе износа алмазных инструментов. В течение первого периода износ происходит в большей степени за счёт вырывания наиболее выступающих алмазных зёрен. Во время второго периода, после стабилизации рельефа рабочей поверхности бора, износ реализуется за счёт затупления режущих кромок и вершин алмазных зёрен.

Ключевые слова: гибридные алмазные боры, препарирование зубов, износостойкость, вырывание алмазных зёрен.

Formation of a stable microrelief of the working surface as a form of diamond boron wear (A.V.Tsimbalistov, A.A.Kopytov, I.V.Ovchinnikov, L.V.Polowneva).

Summary. Improving the efficiency of formation of the stump of the abutment teeth could not be achieved by the selection of cutting conditions and optimization of the composition of the cooling spray. For this reason, the achievement of the desired quality of teeth preparation is possible only through the implementation of innovative approaches to the technology of manufacturing rotary tools. The article presents the results obtained during the testing of a new class of rotary tools-hybrid. In the process of comparative evaluation of wear resistance of standard and hybrid diamond burs, chewing teeth strengthened in gypsum blocks were prepared. On the basis of the dynamics of the concentration of diamond grains on the working surface of the boron it was concluded that two periods in the process of wear of diamond tools. During the first period, wear occurs,

to a greater extent, due to the pull-out of the most exposed diamond grains. During the second period, after the stabilization of the relief of the working surface of the boron, wear is realized by blunting the cutting edges and tops of diamond grains.

Key words: hybrid diamond burs, teeth preparation, wear resistance, diamond grains pulling out.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Качество препарирования зубов при лечении больных, страдающих адентией, во многом определяет успешность восстановления жевательной эффективности [1]. Реализуя повышенный спрос и с целью повышения качества протезирования, разработан способ производства нового класса ротационного инструмента — гибридных боров [2]. Предложенная технология отличается модификацией связки боров грубой и сверхгрубой зернистости алмазным порошком мелкой зернистости, состоящим из зёрен величиной 63-50 мкм. Суть предложения заключается в том, что удерживаемые связкой алмазные зёрна мелкой зернистости повышают изотропию связки, изменяя её эксплуатационные характеристики. Выявление взаимосвязи между технологическими особенностями формирования рабочей поверхности алмазных боров и их износостойкостью представляет большой научный и коммерческий интерес, а нахождение оптимальных решений способствует повышению качества лечения больных с применением несъёмных протезов.

Цель исследования: сравнительная оценка износостойкости стандартных алмазных боров с зернистостью 160-125 мкм и 220-160 мкм и гибридных алмазных боров с зернистостью 160-125 / 63-50 мкм и 220-160 / 63-50 мкм.

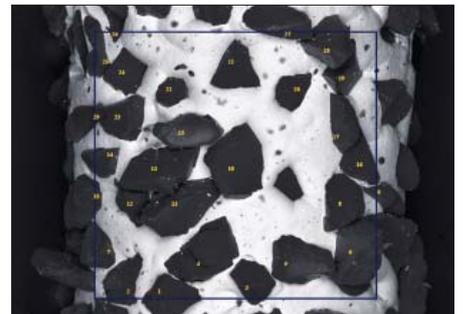
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

К исследованию принято по пять боров, указанных типоразмеров. Для обеспечения стандартизации условий наработки, с целью повышения достоверности результатов исследования, разработан специальный подход. 236 зубов гипсовались в блоки. В процессе гипсования особое внимание уделялось возможности достижения бором шейки зуба. Выборку составили 108 премоляров и 128 моляров, удалённых по ортодонтическим показаниям, а также по поводу пародонтита или осложнённых форм кариеса (ИРОПЗ не более 20%). В каждый блок укреплялось количество зубов, соответствующее 15 условным единицам площади поверхности зубов. При этом площадь поверхности коронки моляров принималась за 3 условные единицы, премоляров — за 2. После кристаллизации гипса кариозные полости пломбировались композитным микрогибридным материалом светового отверждения. Препарирование культи зубов осуществлялось турбинным наконечником, обеспечивающим вращение алмазного бора со скоростью 200000-300000 об/мин при водовоздушном охлаждении, мощностью не менее 50-70 мл/мин (70% — воздух, 30% — вода). Оценка плотности расположения алмазных зёрен на рабочей поверхности боров проводилась до препарирования зубов и после препарирования каждых последующих 15 условных единиц площади поверхности зубов, укрепленных в гипсоблоки. Визуализация рабочей поверхности боров проведена с применением сканирующего электронного микроскопа HITACHI TM 3030 ("Hitachi Ltd", Япония), при 100-кратном увеличении. Расход алмазных зёрен рассчитывался следующим образом: исходная концентрация зёрен принималась за 100%. После препарирования каждым бором

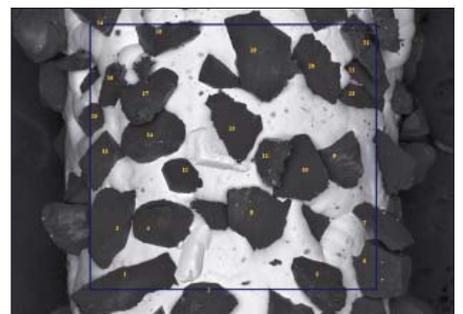
15 и 30 условных единиц площади поверхности зубов, концентрация оставшихся алмазных зёрен соотносилась с исходной. Согласно рекомендациям [3], из статистической обработки исключались пассивные зёрна, зарастающие в связку и до момента износа активных зёрен не контактирующие с тканями зуба. Пассивными являются зёрна величиной 63-50 мкм, модифицирующие связку гибридных боров.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

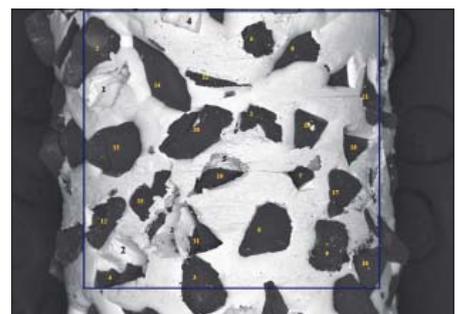
Количество алмазных зёрен на 1 мм² рабочей поверхности стандартных боров зернистостью 160-125 мкм, до препарирования зубов, определяется в границах 46-48 единиц, при среднем значении 47,0±0,71 на 1 мм². После препарирования 15 условных единиц поверхности зубов среднее количество алмазных зёрен снижается на 13,62% и составляет 40,6±0,55 единиц на 1 мм². При этом на визуализациях рабочей по-



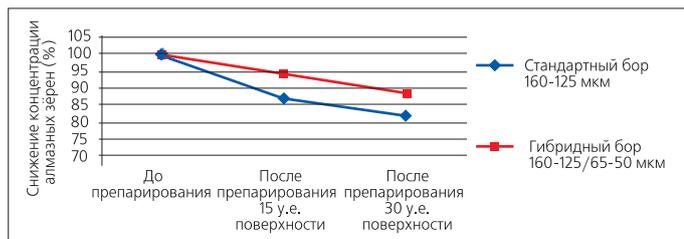
■Рис. 1. Количество алмазных зёрен (n=29) на рабочей поверхности стандартного бора №1 зернистостью 220-160 мкм, до препарирования



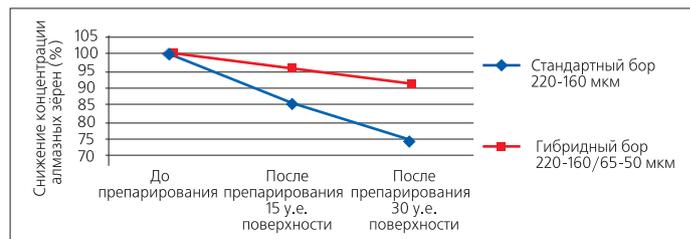
■Рис. 2. Количество алмазных зёрен (n=25) на рабочей поверхности стандартного бора №1 зернистостью 220-160 мкм, после препарирования 15 условных единиц поверхности зубов



■Рис. 3. Количество алмазных зёрен (n=22) на рабочей поверхности стандартного бора №1 зернистостью 220-160 мкм, после препарирования 30 условных единиц поверхности зубов



■Рис. 4. Динамика снижения концентрации алмазных зёрен на рабочей поверхности боров, режущая способность которых обеспечивается порошком зернистостью 160-125 мкм



■Рис. 5. Динамика снижения концентрации алмазных зёрен на рабочей поверхности боров, режущая способность которых обеспечивается порошком зернистостью 220-160 мкм

верхности боров насчитывается от 40 до 41 зерна. После препарирования 30 условных единиц поверхности зубов среднее количество алмазных зёрен уменьшается, в сравнении с исходным состоянием, на 17,87%. Средняя концентрация алмазных зёрен составляет 38,6±1,14 зерна на 1 мм² рабочей поверхности бора. Количество алмазных зёрен на 1 мм² рабочей поверхности колеблется от 37 до 40 единиц.

Микроскопирование стандартных боров зернистостью 220-160 мкм до препарирования выявило меньшую плотность алмазных зёрен на 1 мм² рабочей поверхности. Их количество варьирует от 28 до 31 единицы, при среднем значении 29,20±1,10 зерна на 1 мм² (рис. 1).

После препарирования 15 условных единиц поверхности зубов среднее количество алмазных зёрен снижается на 15,07% и составляет 24,8±0,45 единицы на 1 мм². При этом на визуализациях рабочей поверхности боров насчитывается от 24 до 25 зёрен (рис. 2). После препарирования 30 условных единиц поверхности зубов среднее количество алмазных зёрен уменьшается по сравнению с первоначальным количеством на 26,02%, средняя концентрация алмазных зёрен составляет 21,6±0,55 зерна на 1 мм² рабочей поверхности бора. Количество алмазных зёрен на 1 мм² визуализаций рабочей поверхности колеблется от 21 до 22 зёрен (рис. 3).

На рабочей поверхности новых гибридных боров зернистостью 160-125 / 63-50 мкм плотность алмазных зёрен находится в границах 31-33 зёрен на 1 мм², при среднем количестве 31,8±1,10 зёрен. После препарирования 15 условных единиц поверхности зубов среднее количество алмазных зёрен снижается на 5,66% и составляет 30,0±0,71 единицы на 1 мм². При этом на визуализациях насчитывается от 29 до 31 зёрен. После второго препарирования, по сравнению с исходным состоянием, среднее количество алмазных зёрен уменьшается на 11,32%, средняя концентрация алмазных зёрен составляет 28,20±0,45 на 1 мм². На визуализациях рабочей поверхности количество алмазных зёрен на 1 мм² колеблется от 28 до 29 единиц.

Среднее количество алмазных зёрен на 1 мм² рабочей поверхности гибридных боров зернистостью 220-160 / 63-50 мкм, до препарирования зубов, находится в границах 23-24 единицы при среднем значении 23,20±0,45. После препарирования 15 условных единиц поверхности зубов среднее количество алмазных зёрен снижается на 4,31% и составляет 22,20±0,84 единицы на 1 мм². При этом на визуализациях рабочей поверхности боров насчитывается от 21 до 23 зёрен. После препарирования 30 условных единиц поверхности зубов среднее количество алмазных зёрен уменьшается в сравнении с первоначальной величиной на 8,62%, средняя концентрация алмазных зёрен составляет 21,20±0,84 зерна на 1 мм² рабочей поверхности бора. Количество алмазных зёрен на 1 мм² рабочей поверхности бора колеблется от 20 до 22 единицы.

Препарирование зубов, укрепленных в третьих гипсблоках, не привело к достоверному снижению концентрации алмазных зёрен на рабочей поверхности боров. Визуализации, полученные после препарирования 45 условных единиц поверхности зубов, свидетельствуют о том, что дальней-

ший износ боров происходит путём скалывания микрочастиц алмазных зёрен и за счёт истирания кромок и вершин с образованием граней.

ОБСУЖДЕНИЕ

Нанесение на рабочую поверхность бора зёрен гальваническим методом приводит к их хаотичному распределению. В процессе препарирования алмазные зёрна множественно, случайным образом контактируют с обрабатываемой поверхностью зубов. При этом происходит вырывание целых алмазных зёрен, возможно их транскристаллитное разрушение с образованием новых режущих кромок или сглаживание работающих вершин. Предотвратить вырывание алмазных зёрен не представляется возможным, поскольку устойчивость зёрен есть компромисс между производительностью инструмента и его износостойкостью. Рекомендаций, касающихся заглупления зёрен, с учётом всех воздействующих факторов, в настоящее время не выработано. Уровень сложности компромисса иллюстрируется фактором «концентрация алмазных зёрен на рабочей поверхности бора». Этот фактор формируют четыре переменных: 1) номинальное количество зёрен в единице объёма шлифовального инструмента (*mw*); 2) номинальное количество вершин зёрен, расположенное над единицей поверхности связки (*no*); 3) фактическое количество вершин зёрен, расположенное над единицей поверхности связки (*n*); 4) количество активных (работающих) зёрен. Также на износостойкость ротационного инструмента влияют форма и прочность алмазных зёрен, качество их поверхности, комплекс показателей, описывающих эксплуатационно-технологические характеристики связки, характер нагружения, температура в зоне резания и т.п.[4]. Поиск путей повышения устойчивости крупных алмазных зёрен приводит к мысли о возможности их укрепления мелкими алмазными зёрнами. Разработанный способ представляется возможным обойти традиционно рассматриваемый в машиностроении многофакторный компромисс.

Для наукометрического подтверждения полученных фактов необходимо их соотношение с уже укоренившимися данными. Поиск данных в системе Российского индекса научного цитирования сведений о динамике снижения концентрации алмазных зёрен на поверхности ротационного инструмента не выявил научных работ, позволяющих оценить полученные нами результаты. В работах, найденных с фильтрами «расход алмазов» и «износостойкость алмазного инструмента» (79 и 73 публикации соответственно), приводятся алгоритмы и рассуждения о повышении эффективности промышленной обработки различных по твёрдости материалов. Приведённые в публикациях факты иллюстрируют износ ротационного инструмента на основании вносных показателей, что не позволяет соотнести количество вырванных алмазных зёрен с исходным количеством.

В результате проведённых исследований установлено, что обработка 30 условных единиц поверхности зубов приводит к среднему снижению концентрации алмазных зёрен на рабочей поверхности стандартных боров зернистостью 160-125 мкм на 17,87%, гибридных боров

зернистостью 160-125 / 63-50 мкм — на 11,32% (рис. 4). Наибольшее снижение концентрации алмазных зёрен (26,02%) выявлено на рабочей поверхности стандартных боров зернистостью 220-160 мкм. Наименьшее (8,62%) — на рабочей поверхности гибридных боров зернистостью 220-160 / 63-50 мкм (рис. 5).

На первый взгляд, полученные результаты противоречат логике. Активные алмазные зёрна гибридного бора зернистостью 220-160 / 63-50 мкм должны в большей мере выступать над поверхностью связки, чем активные зёрна гибридного бора зернистостью 160-125 / 63-50 мкм. Следовательно, и расход алмазных зёрен с рабочей поверхности гибридного бора зернистостью 220-160 / 63-50 мкм должен быть наибольшим. Выявленный феномен объясняется тем, что более выступающие зёрна гибридного бора зернистостью 220-160 / 63-50 мкм, интенсивно взаимодействуя с обрабатываемой поверхностью зуба, в большей степени разогревают массив связки. Упруго разогретая связка, деформируясь при нагружении, создаёт условия для заглупления активных зёрен, предотвращая их вырывание.

Выводы

1. В результате проведённого исследования выявлено два этапа износа алмазного ротационного инструмента. На начальном этапе работы алмазных боров износ инструмента происходит за счёт вырывания наиболее выступающих алмазных зёрен, что приводит к нагружению ранее пассивных зёрен. С увеличением количества работающих зёрен воздействующая нагрузка перераспределяется на больший объём связки. При этом сила адгезии в сопряжении «зёрно—связка» превышает силу нагружения, приводящую к вырыванию зёрен. После снижения удельного давления на связку износ бора в большей степени происходит за счёт деформации алмазных зёрен.
2. Модификация связки боров грубой и сверхгрубой зернистости алмазным порошком зернистостью 63-50 мкм приводит к повышению износостойкости алмазных боров.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Васильев Е.В. Повышение производительности алмазного шлифования твердосплавных изделий и ресурса кругов выбором оптимальных схем и режимов шлифования и характеристик круга: дис. ... канд. тех. н. - Омск. - 2005. - 169 с.
2. Пархоменко А.Н., Моторкина Т.В., Шемонаев В.И. Изучение влияния различных алгоритмов препарирования зубов под коронки на исход ортопедического лечения // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. - 2018. - №3. - С. 15-21.
3. Половнева Л.В., Чувп В.П., Бузов А.А., Копытов А.А., Мишина Н.С. Способ изготовления алмазного инструмента. Патент РФ № 2647723. Опубл. 10.03. 2018. Бюл.№ 8.
4. Резников А.Н. Абразивная и алмазная обработка материала. - Машиностроение, 1977. - 391 с.

REFERENCES:

1. Vasil'ev E.V. Povyshenie proizvoditel'nostialmaznogo shlifovaniya tverdosplavnykh izdelij i resursa krugov vyborom optimal'nykh skhem i rezhimov shlifovaniya i harakteristiki kruga: dis. ... kand. tekhn. n. - Omsk. - 2005. - 169 s.
2. Parhomenko A.N., Motorkina T.V., Shemonaev V.I. Izuchenie vliyaniya razlichnykh algoritmov preparirovaniya zubov pod koronki na iskhod ortopedicheskogo lecheniya // Vestnik novykh meditsinskih tekhnologii. Elektronnoye izdaniye. - 2018. - №3. - S. 15-21.
3. Polovneva L.V., Chuvp V.P., Buzov A.A., Kopytov A.A., Mishina N.S. Sposob izgotovleniyaalmaznogo instrumenta. Patent RF № 2647723. Opubl. 10.03. 2018. Byul. № 8.
4. Reznikov A.N. Abrazivnaya ialmaznaya obrabotka materialov. - Mashinostroeniye, 1977. - 391 s.