



УДК 616.314-72

К ВОПРОСУ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ АЛМАЗНЫХ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ БОРОВ (ЧАСТЬ 2)

TO THE QUESTION OF WEAR RESISTANCE OF DIAMOND DENTAL BURS

**А.А. Копытов, А.В. Цимбалистов, А.А. Копытов, А.А. Оганесян
А.А. Kopytov, A.V. Tsimbalistov, A.A. Kopytov, A.A. Oganesyanyan**

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85*

Belgorod National Research University, Russia, 308015, Belgorod, Pobedy St., 85

E-mail: tsimbalistov@bsu.edu.ru

Аннотация. Высокая нуждаемость населения в восстановлении целостности зубных дуг требует применения алмазных боров обеспечивающих эффективную обработку твёрдых тканей зубов и современных конструкционных материалов. Как правило, алмазные боры являются высоконаполненными композициями состоящие из металлического стержня, алмазных зёрен, связки и оптимизирующих её добавок. Продление рабочего времени стоматологических боров возможно тремя путями: повышением прочностных характеристик алмазных зёрен, модификацией связки с учётом прочностных характеристик алмазных зёрен и обрабатываемого материала и оптимизацией режимов резания на основе особенностей физико-химических процессов протекающих в зоне контакта инструмента и обрабатываемой поверхности. Изменение одного из параметров без учёта изменений других параметров не приводит к повышению износостойкости стоматологических боров.

Resume. High need of the population in restoring the integrity of dental arches requires the use of diamond burs for efficient cutting of hard tissue of teeth and modern structural materials. Typically, the diamond burs are highly filled compositions consisting of a metal rod, diamond grains, ligaments and optimizing its supplements. The extension of the working time of the dental burs is possible in three ways: improvement of strength characteristics of diamond grains, a modification of bundles with given strength characteristics of diamond grains and the workpiece material and optimization of cutting parameters based on the characteristics of physical and chemical processes occurring in the contact zone of tool and treated surface. Change one of the parameters without considering the changes in other parameters does not improve the wear resistance of dental burs.

Ключевые слова: несъёмные конструкции; алмазные боры; изнашивание; препарирование зубов.
Keywords: fixed constructions; diamond burs; wear; grinding down the teeth.

Значимую роль в повышении и поддержании износостойкости стоматологических боров играют характеристики алмазных зёрен. Для резки и шлифования стоматологи применяют вращающийся инструмент покрытый абразивным материалом - искусственными или природными алмазными зёрнами. Среди абразивных материалов природный и синтетический алмаз занимают исключительное место. Искусственные и природные алмазные зёрна величиной от 40 до 300 мкм отличаются между собой по большинству технологических характеристик: количеством режущих кромок шероховатостью, форм-фактором фактической проекции и т.д. При рассмотрении совокупности технологических свойств, природный и синтетический алмаз значительно превосходит другие абразивные материалы. Важно отметить, высокую, теплопроводность алмаза. Это технологическое свойство позволяет быстро снижать температуру в контактной области и отводить тепло в связку или стержень бора. Теплопроводность алмаза равна 3000 м²/с, а электрокорунда только 4.3 м²/с [Пушкарев и др., 2015.].

Приоритет в получении искусственных алмазов принадлежит СССР. В 1961 под руководством академика Л.Ф. Верещагина году была отработана промышленная технология получения искусственных алмазов. Суть технологии заключалась в воздействии на графит сверхвысокого давления и температуры в присутствии металлического катализатора. Несколько позже, в 1962 году W.G. Eversole получил патент США на способ получения синтетических алмазов [Верещагин, Журавлев, 1991; Eversole, 1962]. Технология получила признание под названием «High-Pressure High Temperature» (HPHT). В этот же период проводились первые опыты получения алмазов методом термохимического осаждения паровой из фазы Chemical Vapor Deposition (CVD). Согласно этой

технологии на смесь водорода и метана термически воздействует микроволновая плазма, при этом атомы углерода осаждаются на подложку с формированием алмазной структуры. Известно, что при синтезе алмазов методом НРНТ габитус полученных алмазов представляет собой комбинацию нескольких простых форм: октаэдра, куба, ромбододекаэдра, редко тетрагонтриоктаэдра; а в аппаратах выращивания алмаза из газовой фазы по CVD-технологии: октаэдра и куба [Ракин, Пискунова, 2012].

Форма поверхности алмазных зёрен полученных искусственным путём относительно простая, что объясняется коротким периодом времени и ограниченной технологией числом процессов обуславливающих форму кристалла. Алмазным зёрнам природного происхождения присуще большее разнообразие форм и повышенная шероховатость поверхностей. Например, наиболее существенно различие между искусственными и природными алмазными зёрнами размером 125/100 мкм выявлено в количестве режущих кромок, что обеспечивает природным образцам более высокую производительность.

В целом, особенности морфологии поверхности не однозначно влияют на эксплуатационные характеристики боров, покрытых алмазными зёрнами различного происхождения. С одной стороны не правильная форма и развитая поверхность природных зёрен обеспечивает более устойчивое закрепление зёрен в связке, по сравнению с синтетическими зёрнами, форма которых ближе к правильной [Сафонова, Петасюк, 2013]. В свою очередь, не правильная форма зёрен формирует произвольный микрорельеф режущей поверхности инструмента, по этой причине, в процессе резки, некоторые зёрна не достигают обрабатываемой поверхности. Очевидно, что произвольная форма зёрен снижает эффективность инструмента [Крюков, Байдакова, 2014].

Общеизвестно что, прилагаемая нагрузка является основным фактором, определяющим морфологические изменения обрабатываемой поверхности и сроки эксплуатации бора. Величина силы давления бора зависит от площади соприкосновения граней и поверхностей алмазных зёрен с обрабатываемым материалом. Значительное превышение силы давления приводит к повышенной выкрашиваемости (уменьшению устойчивости алмазной крошки) изнашиваемости рабочей части бора, что снижает эффективность обработки и приводит инструмент в негодность [Копытов, 2014; Копытов и др., 2016]. В свою очередь, недостаточная сила давления приводит к изменению геометрии граней алмазных зёрен – выглаживанию режущих граней и уменьшению скорости резания. Принято выделять четыре вида изменения режущего алмазного инструмента:

1. Механическое истирание с образованием фасеток истирания на вершинах режущих граней, возникающее из-за повышения температуры.
2. Хрупкое разрушение режущих граней, приводящее к образованию новых режущих кромок.
3. Хрупкое разрушение алмазных зёрен на части.
4. Вырывание из связки целых алмазных зёрен или их блоков.

В изнашивании алмазных зёрен наиболее значимую роль играет хрупкое разрушение. Оно является следствием возникновения и распространения трещин в алмазных зёрнах, что в свою очередь можно рассматривать как следствие анизотропии зёрен проявляющейся наличием пор и микротрещин. Как правило, порошок искусственных алмазов содержит кристаллы с дефектной поверхностью, обусловленной с мозаичным и блочным строением кристаллов. Морфологические особенности определяется скоростью роста кристаллов в присутствии высокого содержания одиночных атомов азота во время синтеза, что формирует внутренние объёмные дефекты [Богатырева и др., 2009].

Искусственные алмазные зёрна различных марок отличаются по ряду параметров: твёрдости, прочности, форме, развитости поверхности, возможности самозатачивания [Аскалонова, 2015]. Большое значение в производительности режущего инструмента играет его твердость. Известно, что режущий инструмент будет эффективно работать при соотношении твёрдости абразивного материала к твёрдости обрабатываемого материала не менее 1.5. Твёрдость алмаза равна 100 ГПа, твёрдость иных абразивных материалов значительно ниже, твёрдость карбида кремния равна 24 ГПа, электрокорунда 22 ГПа.

Не менее важна прочность абразивных зёрен. Работая над повышением прочности абразивных зёрен в 2000 году фирма The Dow Chemical Co запатентовала абразив Al-C-N приближающийся по прочности к алмазу [Pyzik, 2000.]. А Калифорнийский университет Беркли синтезировал керамику C_3N , прочность которой превосходит прочность алмаза [Haller, 1992.]. Прочность алмазных зёрен оценивается как среднее статистическое значение статистического сжатия приводящего к разрушению алмазного зерна. Для исследования необходимо не менее 50 образцов. Каждое зерно помещается между двумя корундовыми пластинами, результаты выражаются в граммах. Более высокая цифровая индикация марки порошка указывает на большую прочность зёрен.

Производителям алмазных инструментов, в зависимости от планируемых видов работ, необходимо выбрать правильное соотношение прочностных характеристик алмазных зёрен и технологических свойств связки. Практика показала, что для большинства органических связок в



большей степени подходит алмазный порошок марки АС 4. Это соответствие определено тем, что алмазные зерна этой марки отличает развитая шероховатая поверхность, а заданные прочность и хрупкость обуславливают возможность их самозатачивания в инструменте на органических связках. Алмазные порошки маркируемые АС 6 более прочные и менее хрупкие чем порошки марки АС 4, поэтому порошок марки АС 6 как правило, применяются в металлических связках, для обработки более твёрдых материалов. Совокупность прочностных характеристик порошка АС 6 и прочность удержания зёрен металлической связкой снижает размерный износ зёрен и обеспечивает высокую износостойкость инструмента.

Абразивные зерна, размещаясь на рабочей поверхности бора, образуют сложный микропрофиль и в зависимости от конфигурации части зёрна, выступающей над связкой, подразделяются на режущие и трущиеся [Юсупов, Колегов, 2010]. В процессе любого из видов механической обработки твёрдой поверхности (шлифования или резания) режущий инструмент изнашивается - вершины режущих алмазных зёрен затупляются. Уменьшается их исходная высота - величина, на которую грань (вершина) зерна выступает из связки инструмента. С развитием затупления, усиливается засаливание режущих граней и вершин зёрен, увеличивается сила трения. Образование фасеток истирания обуславливается снижением прочности и твёрдости алмазных зёрен при повышенных температурах, возникающих в зоне контакта бора и обрабатываемой поверхности

Поскольку зерно не вырвано из связки, можно говорить его о хрупком разрушении. При дальнейшем нагружении увеличивается мгновенная режущая способность, а, следовательно, и нагрузка на затуплённые кромки (вершины). Вновь возникшее хрупкое разрушение приводит к образованию новых режущих граней (вершин), восстановлению режущей способности. Сила необходимая для резания этим зерном уменьшается. Это свойство абразивных зёрен носит название самозатачиваемости. Через некоторое время грани (вершины), образованные путём самозатачиваемости вновь притупляются. Это приводит к необходимости увеличения силы резания. В свою очередь, увеличившаяся сила резания приводит к вторичному разрушению и вторично разрушенная грань (вершина) хрупко разрушающегося зерна начинает резать в нормальном режиме вновь образованными кромкам граней (вершинами). Дальнейшая резка приводит к третьему притуплению. При этом, высота, на которую грань (вершина) зерна выступает из связки, настолько мала, что воздействующие усилия и температура не приводит к дальнейшему хрупкому разрушению и формированию острых граней и вершин. Низкий профиль зерна приводит к достаточно прочному удержанию зерна в связке. В результате зерно утрачивает способность резать, возрастает сила трения между фасеткой зерна и обрабатываемой поверхности, что становится причиной возникновения прижогов и шлифовочных трещин.

Роль связки в поддержании износостойкости стоматологических боров. Вещество или совокупность материалов применяемых для закрепления на рабочей части вращающегося инструмента алмазных зёрен называется связкой. Для придания инструменту требуемых эксплуатационных характеристик в связку вводят различные наполнители, модифицирующие добавки и т.п. Наполнители должны отличаться:

- температурой размягчения сопоставимой или большей расчётных температур, возникающих в зоне резки;
- прочностными характеристиками выше соответствующих характеристик материала связки и абразива;
- высокой адгезией к материалам инструмента;
- коэффициентом термического расширения соответствующим коэффициенту термического расширения материалов инструмента;
- низкой себестоимостью изготовления.

Поскольку при шлифовании более 80% затрачиваемой мощности переходит в тепло, важными требованиями к алмазному инструменту является соответствие твёрдости и износостойкости связки, технологическим параметрам обрабатываемого материала. Это требование обусловлено тем, что износ связки происходит при высоких температурах, под действием осколков разрушаемого материала. Изучая вопросы теплопередачи, с учётом износа алмазных зёрен и соотношения режущий инструмент – обрабатываемая поверхность, сочтено целесообразным разделить алмазные зёрен на: режущие, давящие, и не контактирующие [Орлов 2014]. Надо полагать, в процессе шлифования режущих и не контактирующих зёрен становится меньше, а давящих - больше, что увеличивает площадь трущихся поверхностей и температур в области взаимодействия.

Так же связке необходима определённая прочность, достаточная для удерживания зерна до полного износа, но в то же время связка должна изнашиваться с интенсивностью зависящей от марки удерживаемого алмаза. Иными словами, связка должна сочетать две взаимоисключающие характеристики. При длительном нагружении надёжно фиксировать алмазные зёрна. По мере хрупкого разрушения режущих граней алмазных зёрен, приводящего к образованию режущих кромок изнашиваться в такой степени, что бы способствовать образованию новых режущих граней (вершин), восстановлению микрорельефа (режущей способности) инструмента. Отсутствие данно-

го сочетания является причиной повышенного расхода алмазных зёрен или низкой производительности инструмента. В данном случае формируется рабочая поверхность с низким микрорельефом, инструмент утрачивает режущую способность и считается изношенным [Шиц, 2015].

Значимым параметром, определяющим эффективность процесса резания и износостойкость связки, является её податливость. При излишней податливой связке, под воздействием нагрузки превышающей номинальное, алмазное зерно погружается в неё, утрачивая возможность воздействовать на обрабатываемую поверхность. Если связка недостаточно упруга, то алмазное зерно, зажатое между двумя жёсткими поверхностями, довольно быстро притупляется и разрушается, что выводит его из контакта с обрабатываемой поверхностью [Оглезнева, 2010.].

Оценка эксплуатационного опыта алмазно-абразивных инструментов демонстрирует, что прочностные свойства алмазных зёрен, используются малоэффективно, поскольку значительная часть зёрен вырывается из связки, не достигнув существенного износа. Отчасти этот факт объясняется наличием в технологическом процессе формирования связки не достаточного управляемых периодов, приводящих к формированию дефектных анизотропных структур. Дефекты структуры связки образуются в области, непосредственного контакта с алмазными зёрнами, что снижает прочность связки и сокращает срок службы инструмента.

По структуре алмазоносного слоя выделяют три вида связок: органическая, металлическая и гальваническая, придающие инструментам различные качества.

Органической связке свойственно: незначительная твёрдость, невысокие теплопроводность и термостойкость. В процессе работы эта связка нагревается, размягчается, что может приводить к деформации поверхности инструмента. Возможность перемещения алмазных зёрен при нагрузке снижает их способность резать. Для создания специальной опоры для алмазных зёрен в связку вводится наполнитель - зёрна менее дорогих абразивов [Коротовских, 2015].

Металлическая связка обладает высокой твёрдостью и производительностью съёма, что уменьшает время, требуемое для обработки поверхности. Основными технологическими преимуществами металлической связки являются высокая теплопроводность и термостойкость. Как правило, инструментами на металлических связках обрабатываются литейные изделия или особо твёрдые материалы. Однако, в процессе работы интенсивно выделяющееся тепло может разогреть до температуры плавления инструментальный и обрабатываемый материал, что является причиной структурных и фазовых изменений и снижения качества обработки поверхностей [Авалишвили, 2015].

Гальваническая связка обуславливает высокую режущую способность инструмента при любой геометрии рабочей части. Этой связке присуща хорошая теплопроводность, сравнительно низкая себестоимость. Алмазные инструменты на гальванической связке характеризуются одно- или многослойным алмазоникелевым покрытием металлической заготовки. Отдельные кристаллы алмаза связаны никелевым слоем, толщина которого соответствует 2/3 размера зерна. Тем самым обеспечивается надёжная фиксация кристаллов выступающих далеко за поверхность связки и облегчается вывод стружки [Мечник и др., 2015].

Значимыми факторами, влияющими на износ режущего инструмента, являются диффузионные и адгезионные процессы. Взаимопроникновение частиц режущего инструмента и обрабатываемой поверхности увеличивается при воздействии высоких температур и давления возникающих в области контакта. Этот процесс взаимозависимый. Часть алмазных зёрен переносится на обрабатываемую поверхность, а стружка обрабатываемого материала переносится на поверхность абразивных зёрен и связки. Налипший на поверхностях зёрен и связки материал с частичками абразива способствует нарушению изотропии связки и разрушению граней (вершин) зёрен. Так при резании титана обработанная поверхность почти на 70% покрыта слоем налипшего металла. При этом налипший металл не однороден, на его поверхности присутствуют раковины и трещины [Носенко и др., 2014].

Удержание алмазного зерна в связке может обеспечиваться двумя путями. Механическая составляющая алмазоудержания может повышаться в случае применения более твёрдой или прочной связки. Увеличение адгезионной составляющей возможно путём легирования связки адгезионно-активирующими агентами, или путём металлизации алмазного порошка для возникновения химической связи зерно-связка. В настоящее время с целью повышения износостойкости алмазного инструмента наиболее часто алмазные порошки покрывают никелем. Степень металлизации алмазных зёрен может достигать 100%, т.е. масса покрытия может соответствовать средней массе зёрен в данном порошке, при этом увеличивается не только шероховатость зерна, но и его объём. Экспериментально доказано, что применение металлизации алмазных зёрен на органических связках снижает удельный расход алмазов в 1.4-1.7 раза. Известно несколько подходов к металлизации алмаза: вакуумное осаждение, термохимические и гальванические методы, улучшающие закрепление зерна в связке. При этом, сила удержания алмазного зерна в данной связке может претерпевать значительные изменения в зависимости от цикличности нагружения и величины нагружения [Авалишвили, 2015].



Количественным показателем алмазоудержания служит оценка динамики изменения распределения количества активных алмазных зёрен в связке за период эксплуатации инструмента. Известны три группы методов оценки распределения алмазных зёрен: оптические, качественные, профилометрические. Опираясь на эти методы можно прогнозировать режущую способность, производительность инструментов. Если на рабочей поверхности инструмента количество активных алмазных зёрен изменяется в значительной степени, следует говорить о высокой изнашиваемости инструмента и динамическом снижении эффективности резки [Шиц, 2015.]. Интенсивность изнашиваемости усиливается с увеличением зернистости инструмента. При большей зернистости растёт толщина слоя, снимаемого каждым зерном, что в свою очередь приводит к увеличению изгибающего момента и деформации связки. На изнашиваемость так же влияет скорость вращения инструмента. Верхний предел скорости вращения, обуславливающий сохранение исходного профиля режущей поверхности инструмента, с увеличением твёрдости обрабатываемого материала снижается.

Таким образом, повышение нагрузки при обработке поверхностей зуба или материала протеза, приводит к большему выделению тепла и, как следствие, повышению температуры в контактирующих точках, что является причиной морфологических изменений алмазных зёрен и связки, что способствует возникновению остаточных напряжений и износу алмазного инструмента.

Список литературы References

- Авалишвили З.А., Церодзе М.П., Лоладзе Н.Т. 2015. Влияние некоторых физико-механических свойств металлической связки на эффективность работы алмазного инструмента *European research*. 10 (11):46-53.
- Avalishvili Z.A., Cerodze M.P., Loladze N.T. 2015. Vliyanie nekotoryh fiziko-mekhanicheskikh svoystv metallicheskoj svyazki na ehffektivnost' raboty almaznogo instrumenta [The influence of some physico-mechanical properties of metal bonds on the performance of diamond tools]. *European research*. 10 (11):46-53. (in Russian)
- Аскалонова Т.А., Леонов С.Л., Лукин Л.Н. 2015. Анализ методов контроля качества алмазных порошков *Вестник алтайской науки*. 2 (24):5-8.
- Askalonova T.A., Leonov S.L., Lukin L.N. 2015. Analiz metodov kontrolya kachestva almaznyh poroshkov [Analysis methods for quality control of diamond powders]. *Vestnik altajskoj nauki*. 2 (24):5-8. (in Russian)
- Богатырева Г.П., Ильницкая Г.Д., Невструев Г.Ф., Ткач С.В., Зайцева И.Н., Лещенко О.В. 2009. Влияние структуры кристаллов алмаза на физические и физико-механические свойства алмазных шлифпорошков *Прогрессивные технологии и системимашинобудовання*. 1 (37):20-25.
- Bogatyрева G.P., Il'nitskaya G.D., Nevstruev G.F., Tkach S.V., Zajceva I.N., Leshchenko O.V. 2009. Vliyanie struktury kristallov almaza na fizicheskie i fiziko-mekhanicheskie svoystva almaznyh shlifporoshkov [The effect of the structure of diamond crystals on the physical and physico-mechanical properties of diamond slipproof]. *Progrivnitekhnologii i sistemimashinobudovannya*. 1 (37):20-25. (in Russian)
- Верещагин А.В. Журавлев В.В. 1991. Композиционные алмазосодержащие материалы и покрытия. Минск: Наука и Техника. 208 с.
- Vereshchagin A.V. Zhuravlev V.V. 1991. Kompozicionnye almazosoderzhashchie materialy i pokrytiya. [Composite diamond-containing materials and coatings]. Minsk: Navuka i Tehxnika. 208 s. (in Russian)
- Копытов А.А. 2013. Формирование информационно-коммуникативным пространством современного вуза конкурентоспособности социальных групп. Теория и практика общественного развития. 7:35-38.
- Kopytov A.A. 2013. Formirovanie informacionnokommunikativnym prostranstvom sovremennogo vuza konkurentosposobnosti social'nyh grupp. [The formation of information-communicative space of the modern University competitiveness social groups]. *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya*. 7:35-38. (in Russian)
- Копытов А.А., Цимбалистов А.В., Мишина Н.С., Копытов А.А. 2016. Оценка доверия к алмазным борам ЗАО «ОЭЗ „ВладМиВа”» по результатам анкетирования профессионалов столичного региона. *Медицинский алфавит* 2 (9):12-15.
- Kopytov A.A., Cimbalistov A.V., Mishina N.S., Kopytov A.A. 2016. Ocenka doveriya k almaznym boram ZAO «OEHZ „VladMiVa”» po rezul'tatam anketirovaniya professionalov stolichnogo regiona. [Assessment of the credibility of the diamond boram JSC OEHZ VladMiVa"" the results of the survey of professionals in the capital region]. *Medicinskij alfavit* 2 (9):12-15. (in Russian)
- Коротовских В.К. 2015. Структура алмазных кругов на органических связках *Вестник Курганского государственного университета*. Серия: Технические науки. 3(37):17-20.
- Korotovskikh V.K. 2015. Struktura almaznyh krugov na organicheskikh svyazkah [Structure of diamond wheels with organic ligaments]. *Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta*. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 3 (37):17-20. (in Russian)
- Крюков С.А., Байдакова Н.В. 2014. Системно-комплексный подход к модифицированию абразивных инструментов при их совершенствовании *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2 (75):122-126.
- Kryukov S.A., Bajdakova N.V. 2014. Sistemno-kompleksnyj podhod k modifitsirovaniyu abrazivnyh instrumentov pri ih sovershenstvovanii [System-an integrated approach to the modification of abrasive tools in their improvement]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2 (75):122-126. (in Russian)

Мечник В.А., Геворкян Э.С., Бондаренко Н.А., Мельник О.М., Литовченко С.В., Чипкала В.А. 2015. Фазообразование, структура переходной зоны алмаз-металлическая связка в композитах с добавками nbn в процессе спекания *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe*. 3 (3):С. 133-145.

Mechnik V.A., Gevorkyan E.H.S., Bondarenko N.A., Mel'nik O.M., Litovchenko S.V., Chishkala V.A. 2015. Fazoobrazovanie, struktura perekhodnoj zonyalmaz-metallicheskaya svyazka v kompozitah s dobavkami nbn v processe spekaniya [Phase formation, structure of the transition zone of the diamond-metal bond in composites with additives nbn in the sintering process]. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe*. 3 (3):S. 133-145. (in Russian)

Носенко С.В., Носенко В.А., Кременецкий Л.Л. 2014. Влияние условий обработки на эксплуатационные показатели глубинного шлифования титановых сплавов *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*.

Nosenko S.V., Nosenko V.A., Kremeneckij L.L. 2014. Vliyanie uslovij obrabotki na ehkspluatacionnye pokazateli glubinnogo shlifovaniya titanovyh splavov [The influence of the processing conditions on the performance deep grinding of titanium alloys]. *Mashinostroenie: setevoj ehlektronnyj nauchnyj zhurnal*. (in Russian)

Оглезнева С.А. 2010. Алмазный инструмент на стальной метастабильной связке для резки природного камня. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение*. 12 (4):72-79.

Oglezneva S.A. 2010. Almaznyj instrument na stal'noj metastabil'noj svyazke dlya rezki prirodnogo kamnya. [Diamond tool for steel metastable bale for cutting natural stone]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie*. 12 (4):72-79. (in Russian)

Орлов И.Ю., Орлова Т.Н., Шумячер В.М. 2014. Повышение эффективности операции торцешлифования сталей бакелитовым инструментом, путём подбора наполнителей, снижающих теплонапряжённость процесса В сборнике: *Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы Сборник статей Международной научно-технической конференции Шлифабразив-2014*: 100-104.

Orlov I.YU., Orlova T.N., SHumyacher V.M. 2014. Povyshenie ehffektivnosti operacii torceshlifovaniya stalej bakelitovym instrumentom, putyom podbora napolnitelej, snizhayushchih teplonapryazhyonnost' processa [Improving the efficiency of operations torreslive steel bakelite tool, by selecting fillers that reduce the calorific process]. V sbornike: *Processy abrazivnoj obrabotki, abrazivnye instrumenty i materialy Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii SHlifabraziv-2014*: 100-104. (in Russian)

Пушкарев О.И., Назаренко В.А., Бражников Д.Б. 2014. Методология финишной алмазной обработки заготовок шлифовальных кругов *Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы Сборник статей Международной научно-технической конференции Шлифабразив-2014*:36-39.

Pushkarev O.I., Nazarenko V.A., Brazhnikov D.B. 2014. Metodologiya finishnoj almaznoj obrabotki zagotovok shlifoval'nyh krugov [Methodology the finish diamond machining of grinding wheels]. *Processy abrazivnoj obrabotki, abrazivnye instrumenty i materialy Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii SHlifabraziv-2014*:36-39. (in Russian)

Ракин В.И., Пискунова Н.Н. 2012. Морфология искусственных алмазов *Известия Коми научного центра УрО РАН*. 11:61-67.

Rakin V.I., Piskunova N.N. 2012. Morfologiya iskusstvennyhalmazov [The morphology of synthetic diamonds]. *Izvestiya Komi nauchnogo centra UrO RAN*. 11:61-67. (in Russian)

Сафонова М.Н., Петасюк, А.С. 2013. Компьютерно-аналитические методы диагностики эксплуатационных характеристик алмазных порошков и композиционных материалов на их основе *Новосибирск: Издательство СО РАН* :222.

Safonova M.N. Petasyuk, A.S. 2013. Komp'yuterno-analicheskie metody diagnostiki ehkspluatacionnyh harakteristik almaznyh poroshkov i kompozicionnyh materialov na ih osnove [Computer-analytical methods to diagnose operational characteristics of diamond powders and composite materials on their basis]. *Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN* :222. (in Russian)

Шиц Е.Ю. 2015. Создание инструментальных алмазосодержащих материалов на полиолефиновых матрицах с заданным комплексом свойств дис. д. т. н. *Комсомольск-на-Амуре*: 37-56

Shic E.YU. 2015. Sozdanie instrumental'nyhalmazosoderzhashchih materialov na poliolefinovyh matrichah s zadannym kompleksom svojstv [The creation of diamond-bearing tool materials on polyolefin matrices with specified set of properties]. *dis. d. t. n. Komsomol'sk-na-Amure*: 37-56. (in Russian)

Юсупов Г.Х., Колегов С.А. 2010. Влияние физико-химических явлений на взаимосвязь абразивных зерен с обрабатываемым материалом в процессе резания *Интеллектуальные системы в производстве*. 1:206-209.

Yusupov G.H. Kolegov S.A. 2010. Influence of physico-chemical phenomena on the relationship of the abrasive grain with the machined material during the cutting process *Intelligent systems in production*. 1:206-209. YUsupov G.H., Kolegov S.A. 2010. Vliyanie fiziko-himicheskikh yavlenij na vzaimosvyaz' abrazivnyh zeren s obrabatyvaemym materialom v processe rezaniya *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 1:206-209. (in Russian)

Eversole W.G. 1962. Synthesis of diamond. Patent 3030188 USA filed 23.04.1958.

Haller E.E. 1992. Hard carbon nitride and method for preparing same. Patent 5110679 USA filed 24.04.1990.

Pyzik A.J. 2000. Aluminum-boron-carbon abrasive article and method to form said article. Patent 6042627 USA filed 29.04.1998.