
УДК 621.9.048

М. Г. Киселев, В. Л. Габец, П. С. Богдан, В. П. Семенкович

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИЗНОШЕННОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ И ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ЗУБНЫХ БОРОВ ПУТЕМ ЕЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

UDC 621.9.048

M. G. Kiselev, V. L. Gabets, P. S. Bogdan, V. P. Semenkovich

RECOVERY OF CUTTING CAPACITY OF WORN STEEL AND CARBIDE DENTAL BURS BY THEIR ELECTROEROSION TREATMENT

Аннотация

Исследовано влияние электроэрозионной обработки (модифицирования) изношенной рабочей поверхности стального и твердосплавного зубных боров на восстановление ее режущей способности. Изложены основные положения методики проведения экспериментальных исследований, включая описание устройства электроэрозионного модифицирования изношенной рабочей поверхности стального (XB5) и твердосплавного (BK6M) боров, а также устройства определения их режущей способности по интенсивности резания ими образца из текстолита.

Ключевые слова:

электроэрозионная обработка, стоматологический инструмент, зубной бор, режущая способность.

Abstract

The purpose of this paper is to study experimentally how electroerosion treatment (modification) of a worn working surface of steel and hard-alloy dental burs affects the recovery of its cutting capacity. The key elements of the experimental research methods are described, including the description of a device for electroerosive modification of the worn working surface of steel (XB5) and hard-alloy (BK6M) burs, and a device for determining their cutting ability by the intensity of their cutting a textolite sample.

Key words:

electroerosion treatment, dental instrument, dental bur, cutting capacity.

Введение

Зубной бор представляет собой вращающийся многолезвийный стоматологический инструмент, предназначенный для обработки (препарирования) твердых тканей зубов и челюстных костей [1]. Он (рис. 1) состоит из рабочей части (головки) 1, шейки 2 и хвостовика 3, служащего для закрепления бора в стоматологическом наконечнике.

В зависимости от применяемого стоматологического наконечника боры разделяются для работы с прямым, уг-

ловым и турбинным наконечниками. По форме рабочей части боры могут быть шаровидными, цилиндрическими, коническими, обратноконическими, колесообразными с продольной, торцевой поперечной, угловой или комбинированной насечкой, образующей режущие зубья. В зависимости от материала рабочей части боры разделяются на стальные, изготавливаемые целиком из высокопрочной хромированной стали XB5, и твердосплавные, рабочая часть которых выполняется из цилиндров твердого сплава BK6M или BK60M, которые

привариваются к хвостовику, изготовленному из стали ШХ15 [2].

Согласно ГОСТ 22090.1–93 *Инструменты стоматологические вращающиеся* для стальных боров полный установленный ресурс машинного времени должен быть не менее 9 мин, а для твердосплавных – не менее 40 мин. Следует подчеркнуть, что изношенные боры, т. е. утратившие в силу износа зубьев режущую способность, в дальнейшем не используются, а утилизируются.

Вместе с тем, результаты предшествующих исследований [3–6] показали,

что путем электроэрозионной обработки (модифицирования) исходной гладкой поверхности инструментов (проволока, штрипса, отрезной диск), применяемых для распиливания различных материалов, ей можно придать режущую способность. Достигается это за счет того, что при воздействии на механическую поверхность единичного электрического разряда на ней формируется лунка (рис. 2), по форме близкая к сферической, по краям которой образуются наплывы металла, выходящие за исходный контур поверхности.

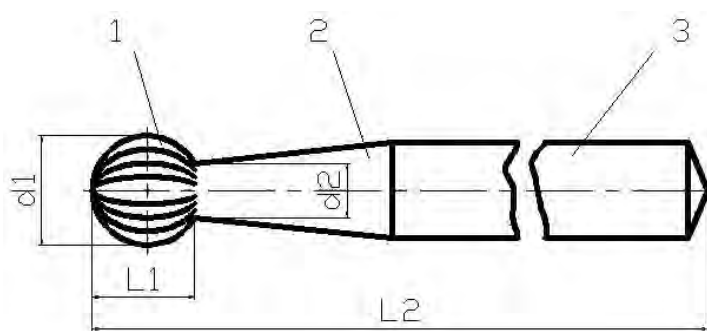


Рис. 1. Конструкция зубного бора: d_1 – диаметр рабочей части (головки); d_2 – диаметр шейки; L_1 – длина рабочей части; L_2 – общая длина бора

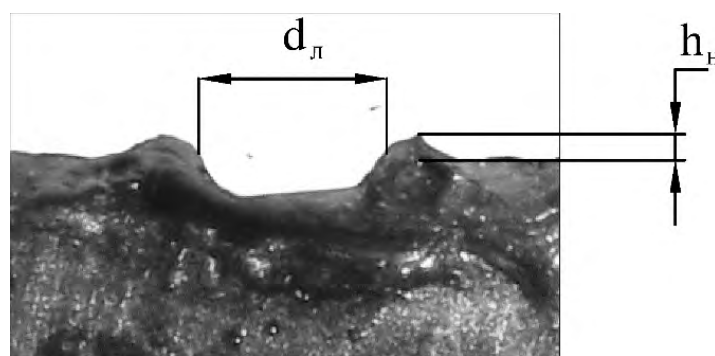


Рис. 2. Фотография единичной лунки сбоку, полученной на поверхности диска, с указанием ее основных элементов

Именно эти наплывы представляют собой своеобразные режуще-деформирующие элементы, способные в процессе обработки разрезать материал заготовки, твердость которого ниже твердости металла наплывов. При этом с возрастанием энергии

электрического разряда высота этих наплывов металла h_n , выполняющих роль зубьев, увеличивается, что придает модифицированной поверхности более высокую режущую способность.

С учетом этого представляется перспективным использовать такую об-

работку для модифицирования изношенной рабочей поверхности стальных и твердосплавных боров с целью восстановления ее режущей способности и дальнейшего использования этих инструментов. В связи с этим цель данной работы заключалась в экспериментальном исследовании влияния режимов электроэрозионной обработки изношенной поверхности стальных и твердосплавных боров на степень восстановления ее режущей способности.

Методика проведения экспериментальных исследований

Объектом исследования являлись стальной и твердосплавный зубные боры, предназначенные для работы с прямым стоматологическим наконечником. Исходный диаметр цилиндрической головки стального бора, на которой выполнены шесть режущих лезвий, составлял 2,53 мм при длине рабочей части 3,5 мм и общей длине бора 44 мм.

Твердосплавный бор диаметром рабочей части 2,08 мм также имел шесть режущих лезвий.

Электроэрозионное модифицирование изношенной рабочей поверхности испытуемых боров осуществлялось с помощью специального устройства, схема и фотография общего вида которого представлены на рис. 3.

На стальной плите 1, установленной на диэлектрическом (деревянном) основании 2, смонтирован электродвигатель 8 (ДСМ 2-П-220), с валом которого посредством эластичной муфты 7 соединен хвостовик обрабатываемого бора 4. Последний установлен в призме 3 и прижимается к ее поверхности с помощью пружинного прижима 6. Электродом-инструментом служит тонкая, толщиной 0,1 мм, стальная пластина 5, которой вручную сообщается периодическое колебательное движение, направленное перпендикулярно изношенной поверхности бора.

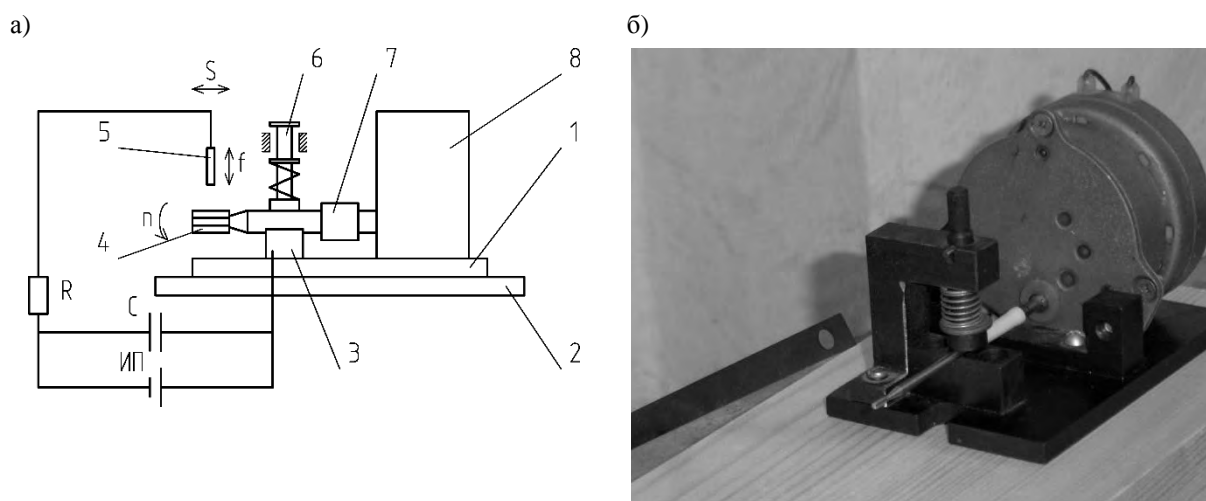


Рис. 3. Схема устройства электроэрозионного модифицирования изношенной рабочей поверхности боров (а) и фотография общего вида устройства (б)

Электрод-инструмент и бор включены в электрическую цепь, состоящую из источника питания постоянного тока ИП, накопительного конденсатора С и токоограничивающего резистора R.

В процессе однократного акта сближения электрода-инструмента с обрабатываемой поверхностью бора на расстоянии, соответствующем минимальной величине межэлектродного промежутка

(МЭП), между ними протекает электрический разряд, вызывающий формирование на ней лунки, имеющей наплывы застывшего металла. При этом в отличие от размерной электроэрозионной обработки необходимо, чтобы формируемые на модифицированной поверхности лунки не перекрывали друг друга. В процессе обработки бору сообщается вращательное движение с частотой $n = 3 \text{ мин}^{-1}$, а электроду-инструменту – колебательное с частотой $f \approx 1 \text{ Гц}$. Для модифицирования всей изношенной поверхности бора пластине дополнительно сообщается движение S вдоль его

оси. Используется прямая полярность (анодом является бор), диэлектрическая жидкость не применяется. Модифицирование осуществлялось при двух значениях напряжения на накопительном конденсаторе 75 и 120 В.

Определение режущей способности испытуемых боров осуществлялось в соответствии с требованиями ГОСТ 30213–94 *Инструменты стоматологические вращающиеся. Методы испытаний* с использованием созданного устройства, схема которого и фотография его рабочей зоны приведены на рис. 4.

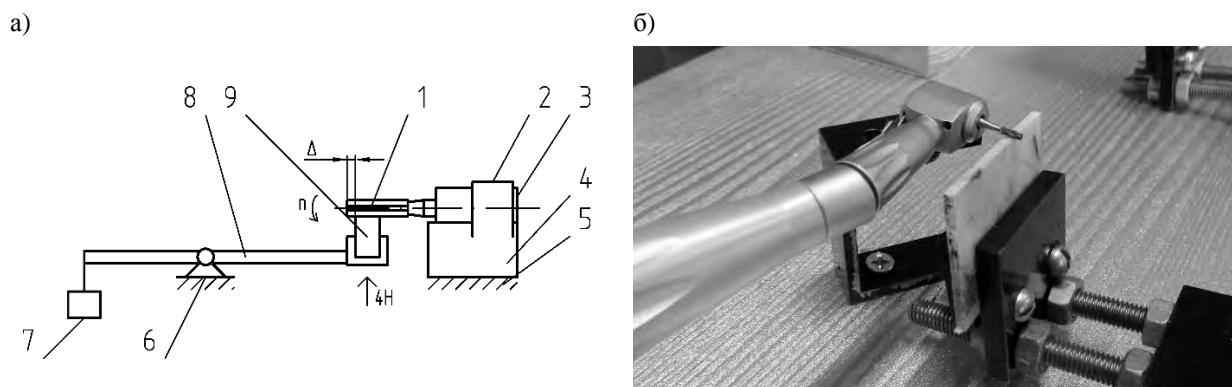


Рис. 4. Схема устройства определения режущей способности бора (а) и фотография его рабочей зоны (б)

Испытуемый бор 1 закрепляется в стоматологическом наконечнике 3, который с помощью хомута 2 своей цилиндрической поверхностью прижимается к поверхности призмы 4, неподвижно установленной на основании 5. На нем также закреплен кронштейн 6, в котором на опорах вращения установлен качающийся рычаг 8. На одном его конце закреплена пластина из текстолита 9 толщиной 1,5 мм, а на другом – аттестованные грузы 7, создающие усилие прижима пластины к режущей поверхности бора, равное 4 Н. Частота вращения бора контролировалась с помощью лазерного тахометра testo 465, и во всех экспериментах ее значение поддерживалось постоянным и состав-

ляло 5000 мин^{-1} .

Предварительно при отпущенном хомуте стоматологический наконечник перемещался в призме в осевом направлении таким образом, чтобы торец бора располагался относительно поверхности текстолитовой пластины на расстоянии $\Delta = 1,0 \text{ мм}$, после чего хомут зажимался.

Затем включался привод вращения стоматологического наконечника, текстолитовая пластина прижималась с заданным усилием к рабочей поверхности вращающегося бора, и в этот момент запускался секундомер. По истечении 30 с процесс обработки прекращался, текстолитовая пластина выводилась из контакта с бором и переустанавливалась на рычаге таким образом, что-

бы на ней можно было прорезать паз другим испытуемым бором, который бы располагался от предыдущего на расстоянии не менее 5 мм.

Режущая способность бора оценивалась по значению интенсивности резания i им текстолитовой пластины, которое определялось отношением площади F полученного на ней пропила ко времени обработки $t = 30$ с, т. е. $i = F/t$. Величина F находилась как произведение толщины пластины $b = 1,5$ мм на глубину h полученного на ней пропила ($F = b \times h$). Значение h измерялось с помощью малого инструментального микроскопа ММИ-2 с точностью ± 5 мкм.

Испытаниям подвергались боры в исходном состоянии их рабочей поверхности (новые), в ее изношенном состоянии, и боры, изношенная рабочая поверхность которых была модифици-

рована путем электроэрозионной обработки. Изношенная рабочая поверхность бора получалась в результате обработки новым бором образца из гранита в течение 5 мин. Диаметральные размеры рабочей поверхности боров при трех ее состояниях измерялись с помощью микрометра МР-25-0,001.

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

На рис. 5 приведены значения интенсивности резания текстолитовой пластины стальным и твердосплавным борам при трех состояниях их рабочей поверхности: в исходном, изношенном и после электроэрозионного модифицирования изношенной поверхности при $U = 75$ и 120 В.

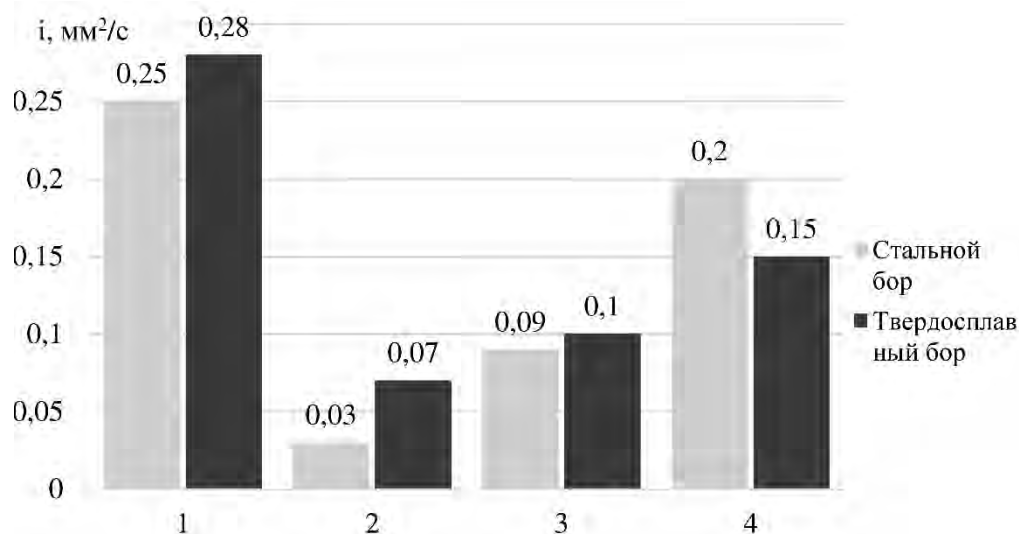


Рис. 5. Значения интенсивности резания текстолитовой пластины испытуемыми борам с различным состоянием режущей поверхности: 1 – в исходном состоянии; 2 – в изношенном состоянии; 3 – модифицированная изношенная поверхность при $U = 75$ В; 4 – модифицированная изношенная поверхность при $U = 120$ В

Из полученных экспериментальных данных видно, что наибольшей режущей способностью обладают боры в исходном состоянии. Так, для стального бора значение i в этом случае составило $0,25$ мм²/с, для твердосплавного – $0,28$ мм²/с. В результате изнашивания

режущих зубьев на их поверхностях интенсивность резания снизилась для стального бора до $0,03$ мм²/с, для твердосплавного – до $0,07$ мм²/с. Для удобства последующего сравнительного анализа влияния состояния поверхности боров на их режущую способность при-

мом значение этого показателя боров в исходном состоянии за 100 %. Тогда режущая способность изношенного стального бора составит 14 % от исходной, а твердосплавного – 27 %. После модифицирования изношенных поверхностей испытуемых боров их режущая способность возрастает и тем больше, чем выше напряжение накопительного конденсатора. Так, при повышении U с 75 до 120 В интенсивность резания стальным бором увеличилась с 0,09

до 0,2 мм²/с, твердосплавным – с 0,1 до 0,15 мм²/с, т. е. их режущая способность возросла соответственно с 37 до 80 % и с 36 до 55 % по отношению к исходной.

На рис. 6 приведены фотографии режущей части стального бора при трех ее состояниях: исходном, изношенном и после электроэрозионного модифицирования при $U = 120$ В.

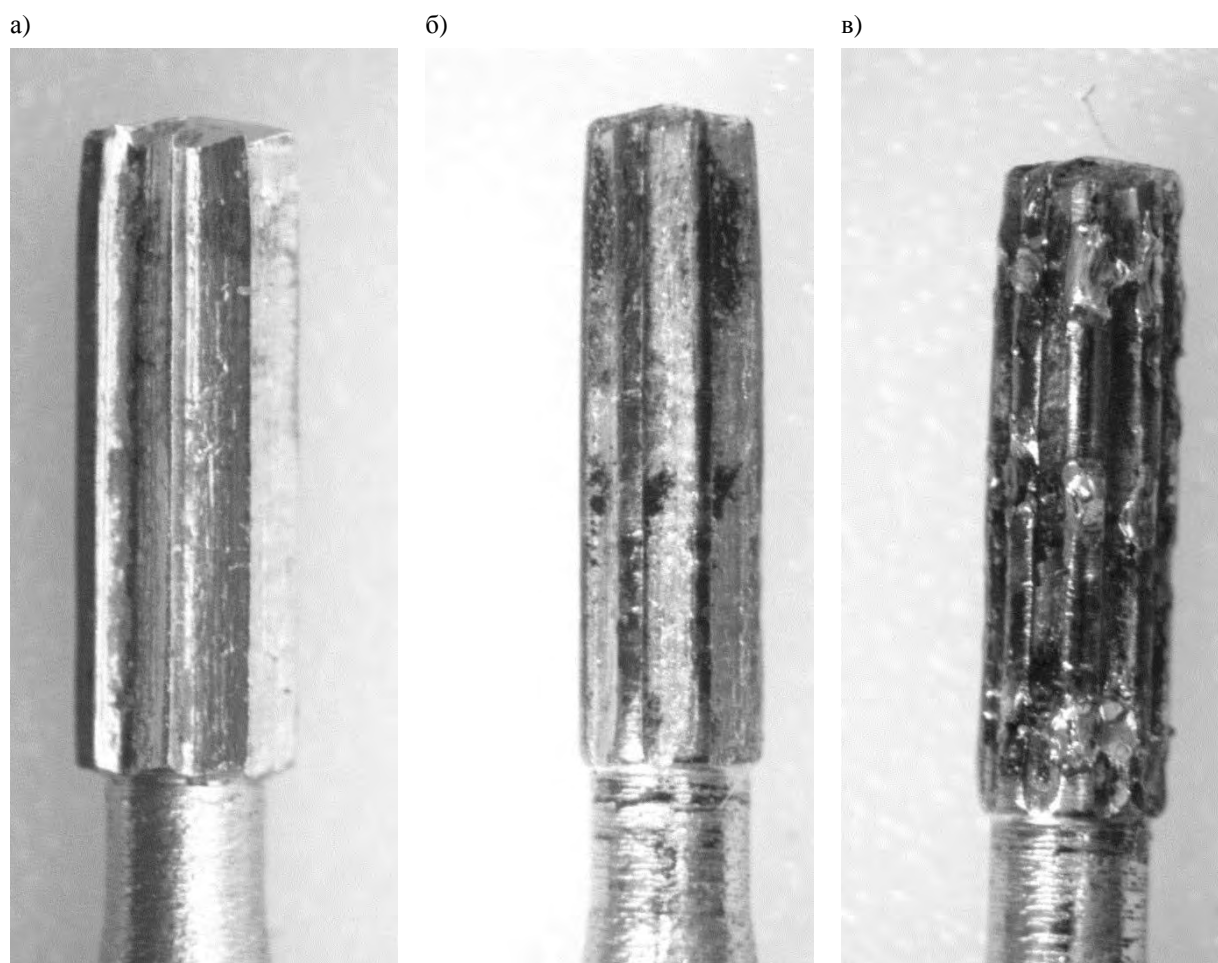


Рис. 6. Фотография режущей части стального бора: а – в исходном состоянии; б – в изношенном состоянии; в – после электроэрозионного модифицирования изношенной поверхности при $U = 120$ В

Из их сравнения видно, что в результате изнашивания режущих зубьев на рабочей поверхности бора ее диаметр по сравнению с исходным уменьшается. После осуществления модифицирования за счет образовавшихся по краям

лунок наплывов металла его значение увеличивается на удвоенную высоту этих наплывов. В табл. 1 приведены значения диаметров рабочей поверхности испытуемых боров при различном ее состоянии.

Табл. 1. Значения диаметров рабочей поверхности испытываемых боров при различном ее состоянии

Состояние рабочей поверхности испытываемого бора	Диаметр рабочей поверхности испытываемого бора, мм	
	стального	твердосплавного
Исходное состояние	1,53	2,08
Изношенное состояние	1,33	1,92
Модифицированная при $U = 75$ В изношенная поверхность бора	1,35	1,94
Модифицированная при $U = 120$ В изношенная поверхность бора	1,43	1,98

Из представленных данных следует, что в результате изнашивания режущих зубьев боров диаметр их рабочей поверхности уменьшился для стального бора на 0,2 мм, для твердосплавного на 0,16 мм. В результате проведения модифицирования при $U = 75$ В диаметр их изношенной поверхности увеличился для стального бора на 0,03 мм, для твердосплавного на 0,02 мм, а при $U = 120$ В это увеличение соответственно составило 0,1 и 0,06 мм. Такое увеличение диаметра изношенной поверхности боров после ее модифицирования связано с формированием на ней лунок, имеющих по краям наплывы металла, выходящие за ее исходный контур. При этом с увеличением напряжения накопительного конденсатора в процессе модифицирования изношенной поверхности бора высота этих наплывов металла возрастает. Объясняется это тем, что с повышением U увеличивается энергия электрического разряда, что приводит к увеличению размеров получаемой на поверхности бора лунки, включая высоту образовавшихся по ее краю наплывов металла. При постоянной энергии электрического разряда и условиях его протекания (в данном случае – при неизменном значении U) размеры и параметры получаемой лунки зависят от теплофизических свойств материала поверхности, в частности от теплоты испарения, удельной теплоем-

кости, теплопроводности, температуры плавления.

На рис. 7 приведены фотографии единичной лунки, полученной на полированной поверхности стального (ШХ15) и твердосплавного (ВК6М) образцов при напряжении накопительного конденсатора 75 В.

Из их сравнения видно, что размеры лунки, полученной на поверхности стального образца, существенно превосходят размеры лунки на поверхности твердосплавного. При этом важно отметить, что по краю лунки, полученной на поверхности стального образца, образуются значительно большие по размеру наплывы металла на поверхности твердосплавного. Как уже отмечалось, эти наплывы металла оправданно рассматривать как своеобразные режущие элементы (зубья) на модифицированной поверхности бора, придающие ей режущую способность. Поэтому чем больше высота наплывов металла, т. е. высота зубьев, на модифицированной поверхности бора, тем выше его режущая способность. Именно этим объясняется более низкая степень влияния модифицирования изношенной рабочей поверхности твердосплавного бора на восстановление ее режущей способности (55 % от первоначальной) по сравнению со стальным бором, у которого режущая способность восстанавливается до 80 % от первоначальной.

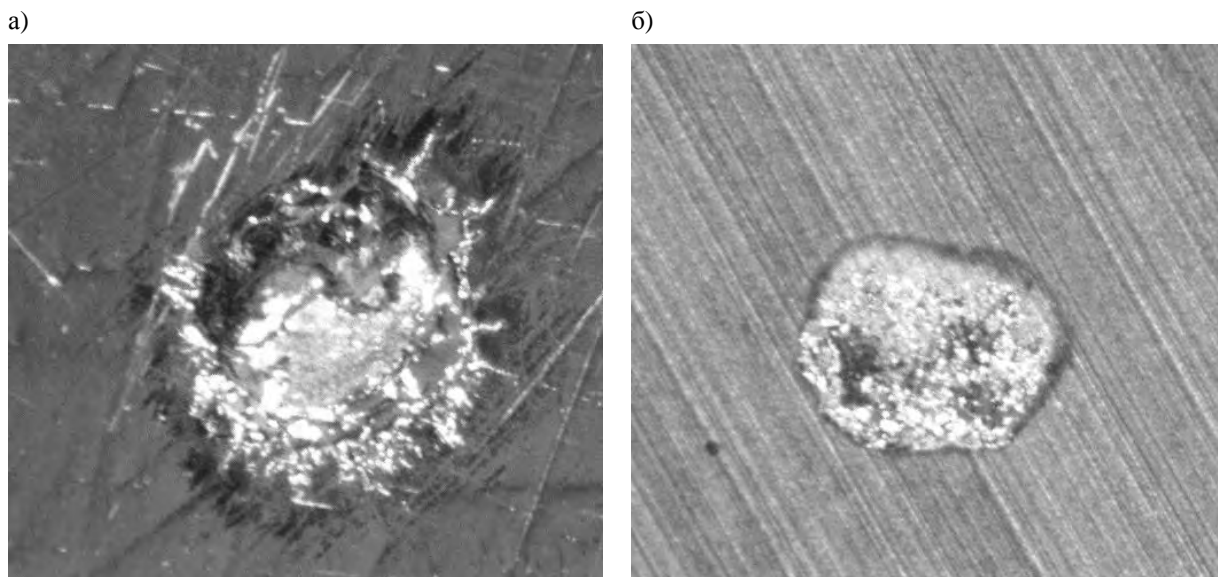


Рис. 7. Фотографии единичной лунки, полученной на поверхности стального (а) и твердосплавного (б) образцов при напряжении накопительного конденсатора 75 В (увеличение 30^х)

Выводы

1. Исходя из анализа результатов ранее проведенных исследований, на основании которых доказано, что путем электроэрозионного модифицирования исходной гладкой поверхности проводочного, ленточного и дискового инструментов ей можно придать режущую способность, обоснована перспективность применения такой обработки с целью восстановления режущей способности изношенной рабочей поверхности зубных боров и их последующего использования.

2. Разработана методика проведения экспериментальных исследований по оценке влияния электроэрозионного модифицирования изношенной поверхности стального (ХВ5) и твердосплавного (ВК6) боров на восстановление ее режущей способности, включающая устройство для выполнения этой операции, а также устройство определения режущей способности испытуемых боров по значению интенсивности резания ими пластины из текстолита.

3. Экспериментально установлено, что наибольшей режущей способностью обладают боры в исходном состоянии (состоянии поставки). Так, для стально-

го бора значение интенсивности i резания пластины из текстолита составило 0,25 мм²/с, для твердосплавного – 0,28 мм²/с. В результате изнашивания режущих зубьев на их поверхностях в процессе обработки гранита в течение 5 мин интенсивность резания текстолита стальным бором снизилась до 0,03 мм²/с, твердосплавным – до 0,07 мм²/с, т. е. их режущая способность по отношению к исходной – до 14 и 27 % соответственно.

4. Установлено, что после модифицирования изношенной поверхности испытуемых боров режущая способность возрастает и тем больше, чем выше напряжение U накопительного конденсатора. Так, при повышении U с 75 до 120 В интенсивность резания текстолита стальным бором увеличилась с 0,09 до 0,2 мм²/с, твердосплавным бором – с 0,1 до 0,15 мм²/с, что соответствует повышению режущей способности по отношению к исходной (равной 100 %) стального бора с 37 до 80 % и твердосплавного с 36 до 55 %.

5. Установлено, что в результате модифицирования изношенной рабочей поверхности испытуемых боров на ней формируются лунки, имеющие по краям

наплывы металла, выходящие за ее исходный контур, высота которых увеличивается с повышением напряжения накопительного конденсатора, что приводит к увеличению диаметра обработанной поверхности. Так, при $U = 75$ В диаметр стального бора по отношению к изношенному увеличился на 0,06 мм, твердосплавного – на 0,02 мм, а при $U = 120$ В увеличение этого параметра составило 0,1 и 0,06 мм соответственно.

6. Показано, что такие наплывы металла оправданно рассматривать как своеобразные режущие элементы (аналоги зубьев) на модифицированной поверхности боров, восстанавливающие

режущую способность их изношенной поверхности и тем эффективнее, чем больше высота этих наплывов. Установлено, что при постоянном значении напряжения накопительного конденсатора ($U = 120$ В) размеры единичной лунки, полученной на поверхности стального образца, и высота наплывов по ее краю оказываются значительно больше, чем на поверхности твердосплавного, что объясняет более низкую режущую способность модифицированной поверхности твердосплавного бора по сравнению с поверхностью стального бора (55 % против 80 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тургунов, Е. М.** Хирургические инструменты / Е. М. Тургунов, А. А. Нурбеков. – Караганда, 2008. – 48 с.
2. **Островецков, Г. Е.** Оперативная хирургия и топографическая анатомия / Г. Е. Островецков, Ю. М. Бомаш, Д. Н. Лубоцкий. – Курск : КГМУ, 1996. – 738 с.
3. Экспериментальная оценка режущей способности штрипса с модифицированной путем электроконтактной обработки рабочей поверхностью / М. Г. Киселев [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. – 2014. – № 3. – С. 64–68.
4. Эффективность применения электроэрозионной обработки поверхности проволочного инструмента с целью придания ей режущей способности / М. Г. Киселев [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – 2013. – № 11. – С. 73–77.
5. Влияние скорости вращения рабочей поверхности отрезного диска в процессе ее электроэрозионной обработки на режущую способность инструмента / М. Г. Киселев [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. – 2016. – № 2. – С. 58–62.
6. **Артамонов, Б. А.** Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов : в 2 т. Т. 1. Обработка материалов с применением инструмента / Б. А. Артамонов. – Москва : Высшая школа, 1983. – 247 с.

Статья сдана в редакцию 24 мая 2017 года

Михаил Григорьевич Киселев, д-р техн. наук, проф., Белорусский национальный технический университет. E-mail: kiselev.maikl@gmail.com.

Вячеслав Леонидович Габец, канд. техн. наук, доц., Белорусский национальный технический университет.

Павел Сергеевич Богдан, аспирант, Белорусский национальный технический университет.

Валерия Петровна Семенович, студент, Белорусский национальный технический университет.

Mikhail Grigoryevich Kiselev, DSc (Engineering), Prof., Belarusian National Technical University. E-mail: kiselev.maikl@gmail.com.

Vyacheslav Leonidovich Gabets, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian National Technical University.

Pavel Sergeevich Bogdan, PhD student, Belarusian National Technical University.

Valeriya Petrovna Semenkovich, student, Belarusian National Technical University.