

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-4-288-296>

УДК 681.2.084

Влияние режимов электроэрозионного модифицирования изношенной рабочей поверхности стоматологических фрез на восстановление ее режущей способности

Докт. техн. наук, проф. М. Г. Киселев¹⁾,
кандидаты техн. наук С. Г. Монич¹⁾, П. С. Богдан¹⁾,
Д. Л. Корчигин¹⁾, магистрант В. В. Ефименко¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2020
Belarusian National Technical University, 2020

Реферат. Выполнена экспериментальная оценка влияния режимов электроэрозионного модифицирования изношенной рабочей поверхности фрезы на восстановление ее режущей способности. Приведены основные сведения о стоматологических фрезах. Изложены положения методики проведения экспериментальных исследований, включая описание устройства для модифицирования изношенной поверхности стоматологической фрезы и устройства определения ее режущей способности. Представлены и проанализированы экспериментальные данные, отражающие влияние на восстановление режущей способности изношенной поверхности стоматологической фрезы, напряжения накопительного конденсатора и количества наносимых на нее лунок в процессе ее модифицирования. Определены рациональные режимы модифицирования изношенной поверхности стоматологической фрезы, обеспечивающие наибольшее восстановление ее режущей способности. Показано, что с повышением напряжения возрастает энергия электрического разряда, воздействующего на обрабатываемую поверхность, что приводит к формированию на ней единичной лунки большего размера, включая наплывы металла по ее краю, выходящие за исходный контур изношенных зубьев фрезы. Эти наплывы металла на модифицированной поверхности фрезы играют роль своеобразных режуще-деформирующих элементов. Выявлено, что в процессе модифицирования изношенной поверхности фрезы необходимо обеспечивать условие отсутствия перекрытия формируемых на ней лунок, т. е. расстояние между центрами соседних лунок должно быть больше или равно размеру наплывов металла по их краям. В этом случае наплывы металла сохраняют свою первоначальную форму и имеют наибольшую при данных параметрах импульса высоту, благодаря чему обеспечивается более высокая, чем при перекрытии лунок, режущая способность модифицированной поверхности фрезы.

Ключевые слова: стоматологическая фреза, методика проведения экспериментов, модифицирование изношенной поверхности фрезы, восстановление режущей способности фрезы

Для цитирования: Влияние режимов электроэрозионного модифицирования изношенной рабочей поверхности стоматологических фрез на восстановление ее режущей способности / М. Г. Киселев [и др.] // *Наука и техника*. 2020. Т. 19, № 4. С. 288–296. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-4-288-296>

Influence of Electro-Erosive Modification Modes for Worn Working Surface of Dental Cutters on Restoration of its Cutting Ability

M. G. Kiselev¹⁾, S. G. Monich¹⁾, P. S. Bogdan¹⁾, D. L. Korchigin¹⁾, V. V. Efimenko¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. An experimental assessment has been made of the influence of electro-erosive modification modes for worn working surface of an cutter on the restoration of its cutting ability. The paper provides basic information on dental cutters. The provisions of the experimental research methodology are described, including a description of a device for modifying

Адрес для переписки

Киселев Михаил Григорьевич
Белорусский национальный технический университет
ул. Я. Коласа, 22,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 292-40-81
kipp@bntu.by

Address for correspondence

Kiselev Mihail G.
Belarusian National Technical University
22, Ya. Kolasa str.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 292-40-81
kipp@bntu.by

the worn surface of a dental cutter and a device for determining its cutting ability. Experimental data are presented and analyzed that reflect an effect on restoration of a cutting ability of a worn surface of a dental cutter, voltage of a storage capacitor and number of holes applied to it during its modification. Rational modes of modifying a worn-out surface of a dental mill that provide the greatest recovery of its cutting ability have been determined in the paper. It has been shown that with increasing voltage, the energy of the electric discharge acting on the treated surface increases, which leads to the formation of a single hole of a larger size on it, including metal flows along its edge that extend beyond the initial contour of the worn cutter teeth. These metal flows on the modified surface of the cutter play the role of peculiar cutting and deforming elements. It has been revealed that in the process of modifying the worn surface of the cutter, it is necessary to ensure that there is no overlap of the holes formed on it, i.e. the distance between the centers of adjacent holes should be greater than or equal to the size of metal deposits at their edges. In this case, the metal flows retain their original shape and have the highest height at these pulse parameters, which ensures a higher cutting ability of the modified cutter surface than when the holes are overlapped.

Keywords: dental cutter, experimental methods, modification of cutter worn surface, restoration of cutter cutting ability

For citation: Kiselev M. G., Monich S. G., Bogdan P. S., Korchigin D. L., Efimenko V. V. (2020) Influence of Electro-Erosive Modification Modes for Worn Working Surface of Dental Cutters on Restoration of its Cutting Ability. *Science and Technique*. 19 (4), 288–296. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-4-288-296> (in Russian)

Введение

Стоматологическая фреза представляет собой многолезвийный вращающийся инструмент (рис. 1), используемый для работы стоматологов-ортопедов и зубных техников вне ротовой полости. Она состоит из рабочей части 1 и хвостовика 2, служащего для закрепления фрезы в микромоторе [1, 2].

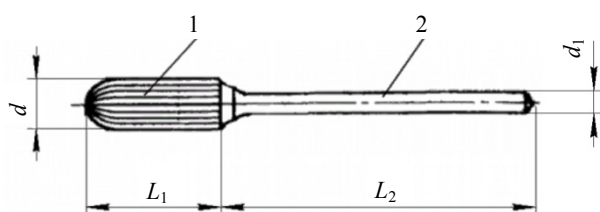


Рис. 1. Основные элементы стоматологической фрезы

Fig. 1. Main elements of dental cutter

Стоматологические фрезы предназначены для работы с прямым наконечником. Хвостовики фрез имеют цилиндрическую форму установленной длины $L_2 = (38 \pm 2)$ мм. Диаметр хвостовика фрезы $d_1 = 2,05$ мм.

По форме рабочей части фрезы подразделяются на цилиндрические, конические, параболоидные, почкообразные, куполообразные, с продольной, торцевой, поперечной, угловой или комбинированной насечкой, образующей режущие зубья. В зависимости от материала рабочей части фрезы разделяются на стальные, изготавливаемые целиком из быстрорежущей стали P18KФ2, P10K5Ф3, P9K5, и карбидные, рабочая часть которых выполняется из цилин-

дров твердого сплава ВК6М или ВК60М, которые привариваются к хвостовику, изготовленному из стали ШХ15.

Согласно ГОСТ 22090.1–93 «Инструменты стоматологические вращающиеся» для стальных фрез полный установленный ресурс машинного времени должен быть не менее 9 мин, а для твердосплавных – 40 мин. Следует подчеркнуть, что изношенные фрезы, т. е. потерявшие режущую способность, в дальнейшем не используются, а утилизируются.

Вместе с тем, как показали результаты исследований [3–5], эффективным способом придания поверхности режущей способности является ее электроэрозионное модифицирование. Сущность данной операции заключается в управляемом воздействии на обрабатываемую поверхность единичных электрических разрядов, в результате чего на ней образуются лунки, имеющие по краям наплывы (валики) застывшего металла, выходящие за исходный контур поверхности. Именно эти наплывы металла выполняют роль своеобразных режуще-деформирующих элементов, придающих модифицированной поверхности режущую способность, т. е. способность разрушать материалы, уступающие по твердости металлу наплывов. При этом за счет изменения энергии электрического разряда и места его воздействия на обрабатываемую поверхность можно управлять как высотой наплывов металла по краю лунки, так и их расположением на модифицированной поверхности, а соответственно влиять на ее режущую способность [6–9]. Однако сегодня отсутствуют сведения, касающиеся применения электроэро-

зионного модифицирования изношенной поверхности стоматологических фрез с целью восстановления их режущей способности, а соответственно увеличения срока их эксплуатации.

Цель исследований авторов статьи заключалась в экспериментальной оценке влияния режимов электроэрозионного модифицирования изношенной поверхности стоматологических фрез на восстановление их режущей способности.

Методика проведения испытаний

Объектом исследования являлась стальная стоматологическая фреза, предназначенная для работы с прямым стоматологическим наконечником. Исходный диаметр ее цилиндрической рабочей части, на которой выполнены шесть режущих лезвий, составлял 2,05 мм при длине рабочей части 12,50 мм и общей длине фрезы 50,00 мм.

Электроэрозионное модифицирование изношенной рабочей поверхности испытуемой фрезы осуществлялось с помощью специально созданного устройства [5], схема которого представлена на рис. 2.

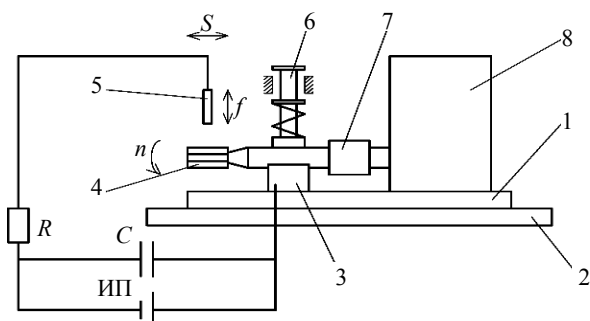


Рис. 2. Принципиальная схема устройства электроэрозионного модифицирования изношенной рабочей поверхности стоматологических фрез

Fig. 2. Schematic diagram of device for electro-erosive modification of worn-out working surface of dental cutters

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 обрабатываемой фрезы 4. Вал вращается с весьма низкой частотой n , равной 3 мин⁻¹. Хвостовик фрезы установлен в призме 3 и прижимается к ее поверх-

ности 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 фрезы. Электрод-инструмент и фреза включены в электрическую цепь, состоящую из источника питания постоянного тока ИП, накопительного конденсатора C и токоограничивающего резистора R . В процессе однократного акта сближения электрода-инструмента с обрабатываемой поверхностью фрезы на расстоянии, соответствующем минимальной величине межэлектродного промежутка (МЭП), между ними протекает электрический разряд, вызывающий формирование на обрабатываемой (изношенной) поверхности фрезы единичной лунки, имеющей по краям наплывы застывшего металла. Электроду-платине сообщается колебательное движение с частотой порядка 1 Гц, при этом в процессе модифицирования за счет его регулируемого перемещения в продольном направлении с подачей S изменялось количество единичных разрядов, воздействующих на обрабатываемую поверхность вращающейся фрезы. Модифицирование осуществлялось при трех значениях напряжения (30, 50 и 70 В) на накопительном конденсаторе емкостью 400 мкФ. При использовании большего напряжения происходит приваривание электрода-платины к поверхности фрезы.

Число лунок, наносимых на изношенную поверхность фрезы, варьировалось от 50 до 450. Использовалась прямая полярность (анодом являлась фреза), и обработка осуществлялась на воздухе без применения диэлектрической жидкости.

Для проведения экспериментальных исследований по определению режущей способности испытуемых фрез применялось устройство, принцип работы которого поясняется схемой, представленной на рис. 3.

Испытуемая фреза 1 закрепляется в сверлильном патроне 2, установленном на валу электродвигателя 3. Последний своей цилиндрической поверхностью с помощью хомутов 4 прижимается к поверхностям призмы 5, закрепленной на массивном основании 6.

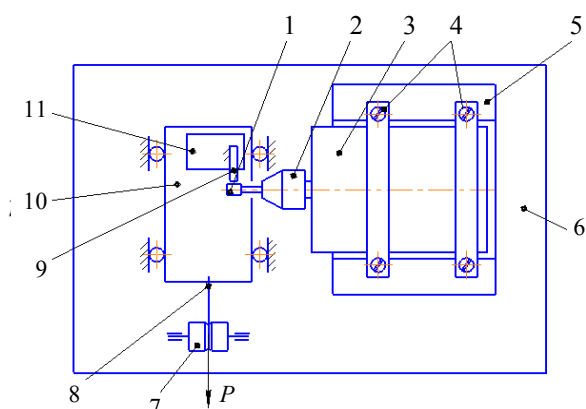


Рис. 3. Схема устройства по определению режущей способности испытуемых стоматологических фрез

Fig. 3. Scheme of device for determining cutting ability of tested dental cutters

Такой способ закрепления электродвигателя позволяет осуществлять необходимые регулировочные перемещения фрезы в осевом направлении перед началом испытаний. Обрабатываемый образец в виде пластины 9 закрепляется в винтовом зажиме 11 таким образом, чтобы его часть (порядка 7–10 мм) из него выступала. Винтовой зажим неподвижно смонтирован на подвижной каретке 10 шариковых направляющих качения, допускающих его перемещение в горизонтальном направлении с минимальным трением. Для создания усилия прижима образца к рабочей части испытуемой фрезы используется тросо-блочная система с аттестованными грузами. Один конец тонкой проволоки 8 прикреплен к подвижной каретке шариковых направляющих, далее проволока проходит через вращающийся в подшипнике качения блок 7, прикрепленный к основанию, а на втором конце проволоки подвешивается аттестованный груз (на рисунке он не показан), масса которого соответствует усилию прижатия образца к испытуемой фрезе.

Положение испытуемой фрезы 1 относительно обрабатываемого образца 2 приведено на рис. 4.

Подлежащие фрезерованию образцы изготавливались из акриловой пластмассы (далее акрила) и двух видов гипса – α -гипса, β -гипса, т. е. из материалов, широко применяемых в ортопедической стоматологии [2].

Во всех экспериментах частота вращения фрезы была постоянной и составляла 3000 мин^{-1} . Также постоянными были продолжительность фрезерования образца (30 с) и статическое усилие прижима фрезы к образцу (4 Н).

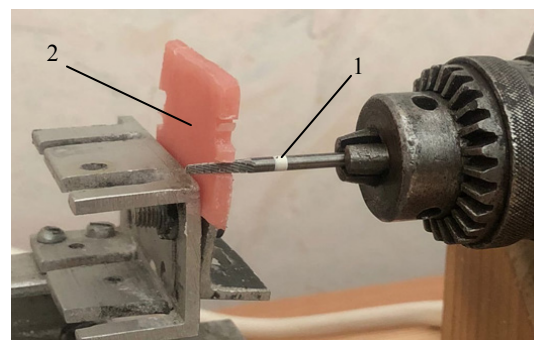


Рис. 4. Фотография положения испытуемой фрезы относительно обрабатываемого образца

Fig. 4. Photograph of tested cutter position relative to processed sample

Режущая способность испытуемой фрезы оценивалась по объему V удаляемого ею материала образца за 30 с фрезерования. Значение V (мм^3) определялось как произведение ширины S профрезерованного паза на образце, его глубины h и толщины образца b

$$V = Shb.$$

Ширина паза S и его глубина h измерялись на малом инструментальном микроскопе ММИ-2, а толщина образца b – с помощью микрометра МК-25-0,01. Им же измерялся диаметр рабочей части фрезы в ее исходном, в затупленном состоянии и после модифицирования затупленной поверхности фрезы. Для получения поверхности фрезы в затупленном состоянии осуществлялось фрезерование ею образца из электрокорунда в течение 30–40 с.

Эксперименты проводились с использованием фрез при трех состояниях их рабочей поверхности: в исходном; в затупленном и после модифицирования изношенной поверхности при различных режимах выполнения этой операции, в частности при разных значениях U и n .

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

На рис. 5 представлена диаграмма зависимости объема V удаленного материала образцов за 30 с их обработки фрезой в исходном и изношенном состояниях рабочей поверхности и после ее модифицирования при разных значениях напряжения U накопительного конденсатора и постоянном количестве наносимых на нее лунок n , равном 150.

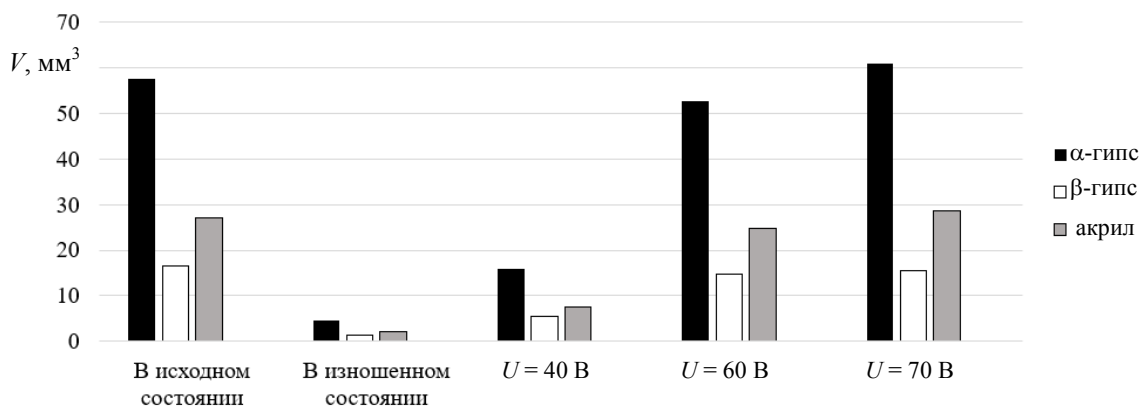


Рис. 5. Диаграмма зависимости объема удаленного материала образцов за 30 с их обработки фрезой в исходном и изношенном состояниях рабочей поверхности и после ее модифицирования при разных значениях U накопительного конденсатора и $n = 150$

Fig. 5. Dependence diagram for removed material volume in samples for 30 s of their processing with mill in initial and worn-out states of working surface and after its modification for different U -values of storage capacitor and $n = 150$

Из сравнительного анализа приведенных данных следует отметить следующие основные положения. Во всех случаях наибольшее значения V наблюдается при обработке α-гипса, существенно меньшее – при обработке акрила, а наименьшее – при обработке β-гипса. Объясняется это тем, что β-гипс имеет наибольшую твердость по сравнению с α-гипсом и акрилом [10]. Применение операции модифицирования изношенной поверхности фрезы приводит к увеличению объема удаляемого ею материала образца, т. е. к повышению ее режущей способности.

С увеличением напряжения U накопительного конденсатора в процессе выполнения модифицирования изношенной поверхности фрезы ее режущая способность при обработке образцов возрастает, т. е. значение V во всех случаях увеличивается.

Для количественной оценки влияния состояния рабочей поверхности испытуемой фрезы (изношенной и модифицированной) на ее режущую способность воспользуемся коэффициентом ее относительной режущей способности $k_{p,c}$, определяемым отношением объема V_M удаленного материала фрезой с изношенной и модифицированной рабочей поверхностью к объему материала $V_{исх}$, удаленного фрезой в ее исходном (заточенном) состоянии, значение которого принимается за 100 %:

$$k_{p,c} = V_M / V_{исх} \cdot 100 \%$$

В табл. 1 приведены рассчитанные значения коэффициента $k_{p,c}$ при обработке образцов фрезой с изношенной поверхностью и модифицированной поверхностью при различных значениях U накопительного конденсатора.

Таблица 1

Значения коэффициента $k_{p,c}$ при обработке образцов фрезой с изношенной и модифицированной поверхностями при различных значениях напряжения
Values of coefficient $k_{p,c}$ during processing of samples with mill having worn-out and modified surfaces at various voltage values

Материал образца	Коэффициент $k_{p,c}$ при обработке образца фрезой, %			
	с изношенной поверхностью	после модифицирования изношенной поверхности при U , В		
		40	60	70
α-гипс	7,8	27,5	91,4	105,7
β-гипс	7,8	32,9	90,3	93,6
Акрил	7,8	27,4	91,4	105,8

Из представленных в табл. 1 данных видно, что при обработке всех материалов фрезой в изношенном состоянии рабочей поверхности коэффициент $k_{p,c}$ имеет постоянное значение, равное 7,8 %. В результате модифицирования поверхности фрезы величина коэффициента $k_{p,c}$ возрастает и тем значительнее, чем выше напряжение U накопительного конденсатора. При обработке гипса и акрила при $U = 70$ В $k_{p,c} > 100$ %, т. е. режущая способность модифицированной поверхности фрезы оказалась

на 5,7 и 5,8 % больше, чем у рабочей поверхности фрезы в исходном (заточенном) состоянии.

Механизм влияния напряжения U накопительного конденсатора на режущую способность модифицированной изношенной поверхности фрезы заключается в следующем. С повышением U возрастает энергия электрического разряда, воздействующего на обрабатываемую поверхность, что приводит к формированию на ней лунки большего размера, включая наплывы металла по ее краю, выходящие за исходный контур изношенных зубьев фрезы. Данное положение наглядно иллюстрируется фотографией единичной лунки 1 (рис. 6), полученной на изношенной поверхности фрезы 3.

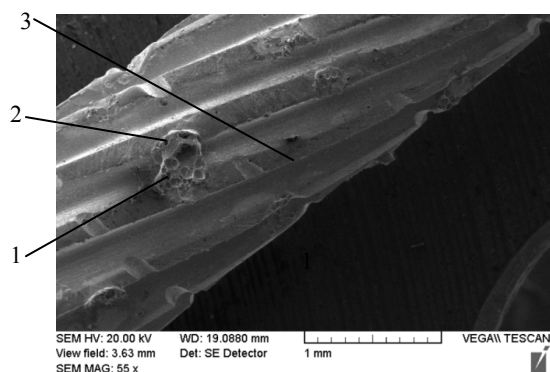


Рис. 6. Фотография единичной лунки, полученной на изношенной поверхности фрезы (увеличение $\times 55$)

Fig. 6. Photograph of single well obtained on worn-out surface of cutter (magnification $\times 55$)

Как видно (рис. 6), по краю лунки располагаются наплывы 2 застывшего металла, часть из которых выступает за контур изношенной поверхности фрезы. В результате эти наплывы на модифицированной поверхности фрезы выполняют роль своеобразных малоразмерных режуще-деформирующих элементов. Поэтому, чем выше энергия разряда, тем больше становится высота наплывов металла (аналог режу-

щего зуба), а соответственно выше режущая способность модифицированной изношенной поверхности фрезы. Данное положение подтверждается результатами измерения диаметра фрезы в исходном и изношенном состояниях и после модифицирования при различных значениях U и при $n = 150$, приведенными в табл. 2.

Таблица 2

Диаметр испытуемой фрезы при различных состояниях ее рабочей поверхности

Diameter of tested cutter with different states of its working surface

Рабочая поверхность фрезы	Диаметр d , мм
В исходном состоянии	2,05
В изношенном состоянии	1,92
После модифицирования изношенной поверхности при U , В:	
40	1,97
60	2,03
70	2,08

Из представленных данных следует, что в результате существенного изнашивания режущих зубьев фрезы диаметр ее рабочей части уменьшился на 0,13 мм. После модифицирования изношенной поверхности фрезы ее диаметр увеличился при $U = 40$ В на 0,05 мм, при $U = 60$ В – на 0,11 мм и при $U = 70$ В – на 0,16 мм. В последнем случае ее диаметр составил 2,08 мм, что на 0,03 мм превышает диаметр рабочей части фрезы в исходном состоянии.

На рис. 7 представлены фотографии рабочей части фрезы при различных ее состояниях.

Помимо изменения напряжения U накопительного конденсатора в процессе модифицирования изношенной поверхности фрезы варьировалось количество воздействующих на нее разрядов, т. е. число n получаемых на ней лунок. Влияние этого технологического параметра на восстановление режущей способности испытуемых фрез отражают данные, представленные на рис. 8, которые получены при $U = 70$ В.

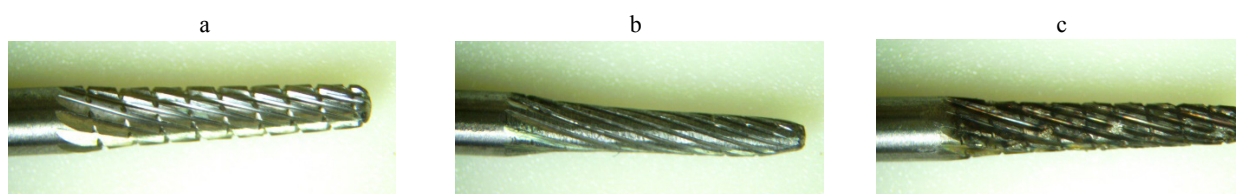


Рис. 7. Фотография рабочей части испытуемой фрезы: а, б – в исходном и изношенном состояниях; с – после электроэрозионного модифицирования изношенной поверхности при $U = 70$ В ($\times 5$)

Fig. 7. Photograph of working part for tested cutter: a, b – in initial and worn-out conditions; c – after electro-erosive modification of worn surface at $U = 70$ V ($\times 5$)

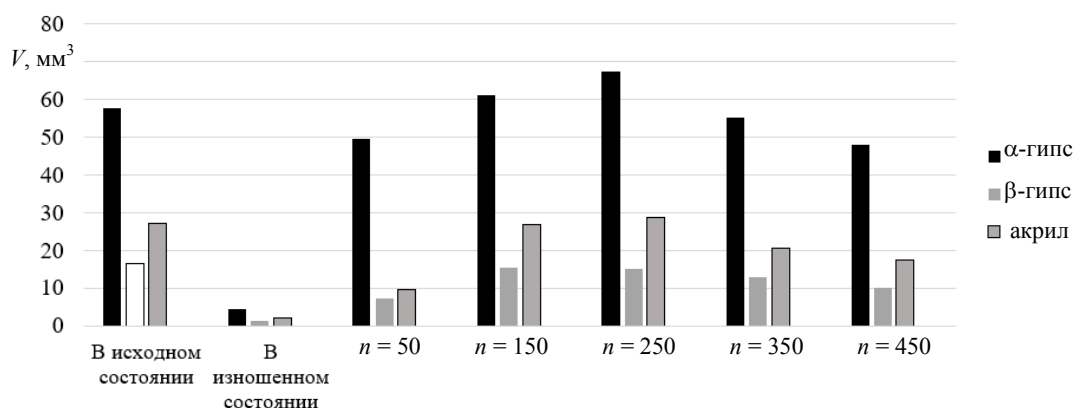


Рис. 8. Диаграмма зависимости объема удаленного материала образцов за 30 с их обработки фрезой в исходном и изношенном состояниях рабочей поверхности и после ее модифицирования при разных значениях n

Fig. 8. Dependence diagram of removed material volume of samples for 30 s of their processing with mill in initial and worn-out states of working surface and after its modification at different values of n

Из анализа экспериментальных данных (рис. 8) следует, что с увеличением n от 50 до 150 значение V для всех обрабатываемых материалов возрастает. С повышением n до 250 значение V для α -гипса и акрила увеличивается, а для β -гипса несколько снижается. При числе лунок на модифицированной поверхности $n = 350$ значение V для всех обрабатываемых материалов уменьшается, и эта тенденция сохраняется с увеличением n до 450. Таким образом, экспериментально установлено, что существует оптимальный диапазон значений n , при котором обеспечивается наибольшая режущая способность модифицированной поверхности изношенной фрезы. В рассматриваемом случае при $U = 70$ В этот диапазон n составляет от 150 до 250.

Механизм влияния количества лунок на изношенной поверхности фрезы на ее режущую способность заключается в следующем. При прочих равных условиях для обеспечения высокой режущей способности необходимо выполнять операцию модифицирования таким образом, чтобы лунки не перекрывали друг друга. В этом случае наплывы металла по краю единичной лунки сохраняют свою первоначальную форму и имеют наибольшую для данных параметров импульса высоту. Для выполнения условия отсутствия их перекрытия необходимо, чтобы расстояние S_n между центрами соседних лунок превышало, а в лучшем случае было равно размеру наплывов металла d_n на модифицирован-

ной поверхности, т. е. $S_n \geq d_n$. Очевидно, в рассматриваемом случае при изменении n от 50 до 250 лунок сохраняется указанное неравенство, а при $n = 250$ оно приближается к равенству, и модифицированная поверхность приобретает наибольшую режущую способность. При $n > 250$ происходит перекрытие лунок, которое сопровождается уменьшением высоты наплывов металла на модифицированной поверхности, а соответственно снижением ее режущей способности. Это подтверждается результатами измерений диаметра рабочей части фрезы d_ϕ после модифицирования ее поверхности при различном количестве получаемых на ней лунок ($U = 70$ В). Так, при $n = 50$ $d_\phi = 1,98$ мм, при $n = 250$ $d_\phi = 2,08$ мм, при $n = 450$ $d_\phi = 1,97$ мм. Уменьшение диаметра при $n > 250$ связано с перекрытием лунок в процессе модифицирования, что характерно для размерной электроэрозионной обработки [11].

На основе полученных экспериментальных данных, отражающих влияние режимов электроэрозионного модифицирования изношенной поверхности испытуемой стоматологической фрезы на восстановление ее режущей способности, можно определить параметры режимов выполнения операции, при которых обеспечивается наибольшая режущая способность фрезы. В частности, напряжение накопительного конденсатора при его емкости 400 мкФ должно составлять 70 В, а количество наносимых на изношенную поверхность лунок (разрядов) должно быть порядка 200–250.

ВЫВОДЫ

1. С использованием специально созданных устройств разработана методика проведения экспериментальных исследований по количественной оценке влияния режимов модифицирования изношенной рабочей поверхности цилиндрической стальной стоматологической фрезы на восстановление ее режущей способности.

2. Получены экспериментальные данные, отражающие влияние напряжения U накопительного конденсатора при модифицировании изношенной поверхности фрезы на восстановление ее режущей способности: установлено, что с увеличением U в процессе выполнения операции модифицирования изношенной поверхности фрезы ее режущая способность, оцениваемая по объему V удаленного материала за 30 с обработки, возрастает. Наибольшее значение V наблюдается при обработке α -гипса, меньшее – при обработке акрила, а наименьшее – при обработке β -гипса, имеющего наибольшую из этих материалов твердость.

3. Для количественной оценки влияния состояния рабочей поверхности испытуемой фрезы (в исходном, изношенном и модифицированном состояниях) на ее режущую способность введен коэффициент относительной режущей способности $k_{p,c}$, который для фрезы в исходном (заточенном) состоянии принят за 100 %. Установлено, что при обработке всех материалов фрезой в изношенном состоянии рабочей поверхности коэффициент $k_{p,c}$ имеет постоянное значение, равное 7,8. В результате ее модифицирования с повышением напряжения U накопительного конденсатора коэффициент $k_{p,c}$ увеличивается, достигая максимального значения при $U = 70$ В. Причем при обработке α -гипса и акрила величина коэффициента $k_{p,c}$ соответственно составила 105,7 и 105,8 %, т. е. больше, чем у рабочей поверхности фрезы в исходном (заточенном) состоянии, и 93,6 % – при обработке β -гипса.

4. Показано, что с повышением U возрастает энергия электрического разряда, действующего на обрабатываемую поверхность, что приводит к формированию на ней единичной лунки большего размера, включая наплывы металла по ее краю, выходящие за исходный контур изношенных зубьев фрезы. Эти наплы-

вы металла на модифицированной поверхности фрезы выполняют роль своеобразных режущедоформирующих элементов.

5. Экспериментально установлено, что в результате модифицирования изношенной поверхности фрезы ее диаметр за счет образовавшихся на ней наплывов металла увеличивается и тем больше, чем выше напряжение U накопительного конденсатора. Так, при диаметре изношенной поверхности фрезы 1,92 мм после ее модифицирования при $U = 40$ В он увеличился до 1,97 мм, при $U = 60$ В до 2,03 мм и при $U = 70$ В до 2,08 мм при диаметре фрезы в исходном состоянии 2,05 мм.

6. Получены экспериментальные данные, отражающие влияние количества лунок n , наносимых на изношенную поверхность фрезы в процессе ее модифицирования, на восстановление ее режущей способности. Установлено, что при $U = 70$ В с увеличением n от 50 до 250 режущая способность модифицированной поверхности фрезы возрастает, а при дальнейшем увеличении n , вплоть до 450, она снижается, т. е. существует оптимальный диапазон n , в котором обеспечивается наибольшая режущая способность модифицированной поверхности фрезы.

7. Выявлено, что в процессе модифицирования изношенной поверхности фрезы необходимо обеспечивать условие отсутствия перекрытия формируемых на ней лунок, т. е. расстояние между центрами соседних лунок должно быть больше или равно размеру наплывов металла по их краям. В этом случае наплывы металла сохраняют свою первоначальную форму и имеют наибольшую при данных параметрах импульса высоту, благодаря чему обеспечивается более высокая, чем при перекрытии лунок, режущая способность модифицированной поверхности фрезы.

8. На основании обобщенного анализа полученных экспериментальных данных определены рациональные режимы модифицирования изношенной рабочей поверхности стоматологической фрезы, обеспечивающие наибольшее (до 96–105 %) восстановление ее режущей способности: напряжение накопительного конденсатора емкостью 400 мкФ должно составлять 70 В, количество равномерно наносимых на обрабатываемую поверхность лунок без их перекрытия должно быть в диапазоне 200–250.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сабитов, В. Х. Медицинские инструменты / В. Х. Сабитов. М.: Медицина, 1985. 175 с.
2. Инструменты стоматологические вращающиеся. Методы испытаний: ГОСТ 30213–94. Введ. 01.07.1996. М.: ТКБ 279 «Зубоврачебное дело», 1996. 8 с.
3. Наук, П. Е. Разработка и исследование технологии и оборудования для изготовления острия инъекционных игл / П. Е. Наук. Одесса, 1984. 215 с.
4. Киселев, М. Г. Формирование поверхности с частично регулярным микрорельефом методом электроэрозионной обработки / М. Г. Киселев, С. Г. Монич, Д. Г. Лапутина // Механика машин, механизмов и материалов. 2017. № 1. С. 64–70.
5. Теоретическое обоснование рациональных параметров режима электроконтактной обработки проволочного инструмента / М. Г. Киселев [и др.] // Вестник ГГТУ имени П. О. Сухого. 2012. № 3. С. 3–10.
6. Фотеев, Н. К. Технология электроэрозионной обработки / Н. К. Фотеев. М.: Машиностроение, 1980. 184 с.
7. Серебrenицкий, П. П. Современные электроэрозионные технологии и оборудование / П. П. Серебrenицкий. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2007. 228 с.
8. Вяжущие гипсовые. Технические условия: ГОСТ 125–79. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 12 с.
9. Влияние электроконтактной обработки поверхности самореза на условия его вкручивания в образцы из различных материалов и выкручивания из них / М. Г. Киселев [и др.] // Наука и техника. 2015. № 5. С. 3–9.
10. Козырь, Д. В. Исследование параметров единичных лунок, полученных в результате электроэрозионной обработки с использованием плазменного электрода инструмента / Д. В. Козырь // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Т. 2, № 4. С. 350–357.
11. Елисеев, Ю. С. Электроэрозионная обработка изделий авиационно-космической техники / Ю. С. Елисеев, Б. П. Саушкин; под ред. Б. П. Саушкина. М.: Изд-во МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2010. 437 с.

Поступила 30.10.2019
 Подписана в печать 14.05.2020
 Опубликовано онлайн 30.07.2020

REFERENCES

1. Sabitov V. Kh. (1985) *Medical Instruments*. Moscow, Meditsina Publ. 175 (in Russian).
2. *State Standard 30213–94. Rotary Dental Tools. Test Methods*. Moscow, Tariff Classification Manual 279 “Zubovrachebnoe delo”, 1996. 8 (in Russian).
3. Nauck P. E. (1984) *Development and Investigation of Technology and Equipment for Manufacturing Injection Needle Point*. Odessa. 215 (in Russian).
4. Kiselev M. G., Monich S. G., Laputina D. G. (2017) Surface Forming with Partly Regular Microrelief with Electrical Discharge Machining. *Mekhanika Mashin, Mekhanizmov i Materialov = Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials*, (1), 64–70 (in Russian).
5. Kiselev M. G., Drozdov A. V., Moscalenok A. V., Bogdan P. S. (2012) Theoretical Substantiation of Rational Parameters of Electric-Mode Processing Wire Tool. *Vestnik GGTU imeni P. O. Sukhogo = Bulletin of the GSTU named after P. O. Sukhoy*, (3), 3–10 (in Russian).
6. Foteev N. K. (1980) *EDM Technology*. Moscow, Mashinostroenie Publ. 184 (in Russian).
7. Serebrenitskii P. P. (2007) *Modern EDM Technologies and Equipment*. Saint-Petersburg, Baltic State Technical University. 228 (in Russian).
8. *State Standard 125–79. Gypsum Binders. Technical Specifications*. Moscow, IPC Publishing House of Standards, 2002. 12 (in Russian).
9. Kiselev M. G., Drozdov A. V., Monich S. G., Bogdan P. S. (2015) Influence of Self-Tapping Screw Electro-Arc Machining on its Twisting-in in Specimens made of Various Materials and Twisting-Out Procedure. *Nauka i Tekhnika = Science & Technique*, (5), 3–9 (in Russian).
10. Kozyr D. V. (2013) Study of Parameters of Single Holes Obtained as a Result of EDM Using a Plasma Electrode Tool. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Tekhnicheskie Nauki = Izvestiya Tula State University*, 2 (4), 350–357 (in Russian).
11. Eliseev Yu. S., Saushkin B. P. (2010) *Electroerosive Processing of Aerospace Equipment*. Moscow, Publishing House of Bauman Moscow State Technical University. 437 (in Russian).

Received: 30.10.2019
 Accepted: 14.05.2020
 Published online: 30.07.2020