

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 условий его протекания (в нашем случае при неизменном значении  $U$ ), размеры и параметры получаемой лунки зависят от теплофизических свойств материала поверхности, в частности теплоты испарения, удельной теплоемкости, теплопроводности, температуры плавления [1].

Из полученных результатов 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.

Выводы:

1. 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 мм<sup>2</sup>/с и твердосплавным бором – с 0,1 до 0,15 мм<sup>2</sup>/с, что соответствует повышению режущей способности по отношению к исходной равной 100% стального бора с 37 до 80% и твердосплавного с 36 до 55%.

2. 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 и твердосплавного на 0,02 мм, а при  $U = 120$  В увеличение этого параметра, соответственно, составило 0,1 и 0,06 мм.

3. Показано, что эти наплывы металла оправдано 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 и высота наплывов по ее краю, полученной на поверхности стального образца, оказываются значительно больше, чем на поверхности твердосплавного, что объясняет более низкую режущую способность модифицированной поверхности твердосплавного бора (55%) против 80% стального бора.

Литература

1. Артамонов, Б.А. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: в 2 т. – М.: Высш. шк., 1983. – Т. 1: Обработка материалов с применением инструмента. – 247 с.

УДК 621.792

## ТЕХНОЛОГИЯ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ВИНТОВЫХ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ИМПЛАНТАТОВ

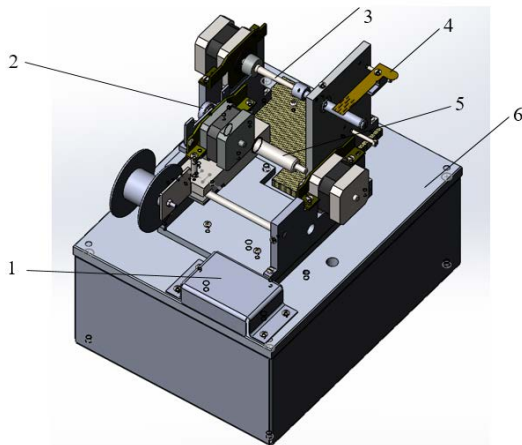
Киселев М.Г., Монич С.Г., Русанов А.П.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Для разработки технологии модифицирования поверхности винтовых титановых стоматологических имплантатов и ее внедрения в производство необходимо было создать соответствующее технологическое оборудование, в частности, установку, реализующую данную технологию БНТУ.01300.00006.

На основе апробированной технологической схемы, примененной в ходе проведения экспериментальных исследований, а также с учетом установленных рациональных режимов модифицирования поверхности винтовых титановых стоматологических имплантатов была спроектирована и изготовлена оригинальная

установка АТЮФ.041815.0007, приведенная на рисунке 1.



1 – пульт управления; 2 – механизм подачи электрода-инструмента; 3 – механизм крепления и вращения имплантата; 4 – механизм подвода напряжения; 5 – механизм перемещения электрода-инструмента; 6 – основание

Рисунок 1 – Трехмерная модель установки модифицирования поверхности винтовых титановых стоматологических имплантатов

Для обеспечения рациональных режимов модифицирования поверхности имплантата [1-4], в частности, коэффициента расположения лунок, необходимо обеспечить соответствующую последовательность работы всех трех шаговых электродвигателей. Так, после формирования на винтовой поверхности имплантата лунки, за время отхода от нее проволочного электрода-инструмента, заготовка должна повернуться на угол, обеспечивающий получение следующей лунки с требуемым коэффициентом расположения лунок ( $\beta_p=1,0-1,15$ ). Значение этого угла определяется по формуле:

$$\varphi = \arccos\left(\frac{2 \cdot r^2 - k_{\text{л}}^2 d_{\text{л}}^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot r^2}\right),$$

где  $r$  – радиус винтовой поверхности имплантата;  $d_{\text{л}}$  – диаметр лунки;  $\alpha$  – угол подъема винтовой линии.

С учетом того, что средний радиус винтовой поверхности заготовки  $r$  составляет 2,0 мм, коэффициент расположения лунок  $\beta_p = 1,1$ ; диаметр лунки, формируемый при напряжении накопительного конденсатора 80 В и его емкости 400 мкФ при обработке с использованием дистиллированной воды, составляет 350 мкм, а угол подъема винтовой линии  $\alpha = 15^\circ$ , заготовка должна повернуться на угол, равный:

$$\varphi = \arccos\left(\frac{2 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2 - 1,1^2 (350 \cdot 10^{-6})^2 \cdot \sin^2 15}{2 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2}\right) = 1,8^\circ.$$

Такая величина угла соответствует углу поворота шагового электродвигателя на 1 шаг.

Одновременно каретка должна переместиться в продольном направлении на величину  $x$ ,

обеспечивающую формирование этой лунки с учетом угла подъема винтовой поверхности имплантата при его повороте на угол  $\varphi$ :

$$x = k_{\text{л}} \cdot d_{\text{л}} \sin \alpha,$$

где  $\alpha$  – угол подъема винтовой линии.

Подставив соответствующие данные, получим:

$$x = 1,1 \cdot (400 \cdot 10^{-6}) \sin 15 = 1,14 \cdot 10^{-4} \text{ мм}.$$

В силу того, что привод перемещения каретки включает в себя передачу «винт-гайка», определим необходимый угол поворота винта:

$$\psi = \frac{x \cdot 360}{p},$$

где  $p$  – шаг резьбы винта (1,5 мм).

$$\text{Тогда } \psi = \frac{1,14 \cdot 10^{-4} \cdot 360}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 27,36^\circ.$$

Такой угол поворота винта будет соответствовать числу импульсов  $N$ , подаваемых на шаговый двигатель  $M_3$ :

$$N = \frac{\psi}{1,8} = 15,2 \text{ имп.}$$

Если принять, что на шаговый двигатель подаются управляющие импульсы с частотой 500 Гц, то время  $t_1$ , необходимое для поворота вала шагового электродвигателя  $M_1$ , составит 2 мс, а время  $t_3$  поворота вала шагового электродвигателя  $M_3$  – 30 мс.

Из конструктивных соображений расстояние  $Z$  от рабочего конца проволочного электрода-инструмента до поверхности имплантата примем равным 3 мм. Тогда, для перемещения электрода-инструмента на это расстояние до контакта с поверхностью заготовки, подающие ролики должны повернуться на угол  $\gamma_+$ :

$$\gamma = \frac{z \cdot 360}{2\pi \cdot R_p},$$

где  $R_p$  – радиус подающих роликов, 8 мм.

$$\text{Тогда } \gamma_+ = \frac{3 \cdot 360}{2\pi \cdot 8} = 21,5^\circ,$$

что соответствует 12 импульсам, подаваемым на шаговый двигатель  $M_2$  с временем его срабатывания равным 2 мс.

На этой стадии на расстоянии равном минимальному значению МЭП происходит разряд между поверхностями продолжительностью  $t \approx 40$  мкс, после чего наступает фаза их механического контактирования продолжительностью  $t_k \approx 8$  мс. Для возвращения электрода-инструмента в первоначальное положение подающие ролики должны повернуться в противоположном направлении на угол  $\gamma_-$ , равном углу  $\gamma_+$  при подаче на шаговый двигатель  $M_2$  12 импульсов с временем его срабатывания равным 24 мс.

После этого, для получения следующей лунки на поверхности имплантата, вал шагового двигателя  $M_2$  должен повернуться на угол  $\gamma_+$ , обеспечивая тем самым перемещение электрода-инструмента до контакта с обрабатываемой поверхностью заготовки. Таким образом, общая

продолжительность времени  $T_p$  между двумя последовательными разрядами составит время порядка 56 мс. При этом значение  $T_p$ , т.е. частота замыкания электрической цепи, должна обеспечивать, во-первых, гарантированное срабатывание шаговых двигателей  $M_1$  и  $M_3$ , а, во-вторых, полную зарядку конденсатора емкостью  $C$  в разрядной цепи. Это время  $\tau$  определяется по известной формуле  $\tau = RC$ , где  $R$  – сопротивление цепи, которое в данном случае определяется, главным образом, сопротивлением токоограничивающего резистора  $R$ , равного 0,52 Ом. Тогда время  $\tau$  при  $C = 400$  мкФ составит 0,21 мс.

Из полученных расчетных данных следует, что продолжительность времени  $T_p$  между двумя последовательными разрядами обеспечивает гарантированное срабатывание шаговых двигателей  $M_1$  и  $M_3$ , а соответственно, поворот заготовки на требуемый угол и осевое перемещение электрода-инструмента на заданную величину, а также полную зарядку накопительного конденсатора в разрядной цепи.

Управление работой этих шаговых двигателей осуществляется с помощью специально разработанного программируемого электронного блока, который позволяет осуществлять процесс обработки поверхности имплантата в автоматическом режиме с обеспечением рациональных режимов ее модифицирования. При этом основное время выполнения операции  $T_0$  при длине рабочего хода  $L_p = 25$  мм и продольной подаче  $S_{пр} = 2,9$  мм/мин составляет 8,5 мин. В состав вспомогательного времени  $T_v$  входят затраты времени на установку и снятие имплантата  $T_{у.с.}$ , время на перемещение электрода-инструмента в исходное положение  $T_{пер.}$  и время на управление установкой  $T_{уст.}$ .

Экспериментально установлено, что  $T_{у.с.} = 0,25$  мин,  $T_{пер.} = 0,08$  мин и  $T_{уст.} = 0,10$  мин. Таким образом, оперативное время  $T_{оп.}$  выполнения операции модифицирования поверхности имплантата ( $T_{оп.} = T_{о.} + T_{в.}$ ) составит 8,93 мин. Если принять подготовительно-заключительное время  $T_{п.з.}$  равным нулю (для крупносерийного производства), то производительность работы установки будет составлять – 9 имплантатов в час.

С учетом полученных данных по техническому нормированию разработана технология модифицирования поверхности винтовых титановых стоматологических имплантатов на данной установке.

#### Литература

1. Вильямс, Д.Ф. Имплантаты в хирургии / Д.Ф. Вильямс, Р. Роуф; пер. с англ. Е. В. Колпакова. – М. : Медицина, 1978. – 552 с.
2. Jarcho, M. Calcium phosphate ceramics as hard tissue prosthetics / M. Jarcho // *Clinical Orthopaedics a. Related Research*. – 1981. – Vol. 157, № 6. – P. 259–278.
3. Киселев, М.Г. Особенности формирования следов обработки на поверхности титанового образца при однократном электроконтактном воздействии на нее проволочным электродом-инструментом / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, П.С. Богдан, С.Г. Мониц // *Наука и техника*. – 2013. – №2. – С.23–27.
4. Влияние методов обработки поверхности титановых имплантатов на физико-химические и биохимические характеристики их поверхности / М. Г. Киселев [и др.] // *Материалы, технологии, инструменты*. – 2008. – Т. 13, № 2. – С. 70–75.

УДК 621.9.048

### МЕТОДИКА ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УСЛОВИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАСПИЛИВАЕМОГО МАТЕРИАЛА С НАПЛЫВАМИ МЕТАЛЛА, ПОЛУЧЕННЫМИ НА ГЛАДКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА, В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ

Киселев М.Г., Богдан П.С., Ямная Д.А., Давыдова К.А.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Результатами ранее проверенных исследований [1-3] установлено, что за счет воздействия на гладкую металлическую поверхность электрическими разрядами ей можно придать режущую способность. Достигается это за счет того, что в результате электрической эрозии на ней формируются лунки по форме близкие к сферической, которые имеют по краям наплывы (валики) металла, выходящие за исходный контур поверхности, как показано на рисунке 1. Именно эти наплывы металла выполняют роль своеобразных режущих элементов, которые при распиливании способны

снимать стружку с поверхности материалов, уступающих по твердости металлу наплывов. Важно подчеркнуть, что геометрические параметры формируемых лунок, включая форму и размеры образовавшихся по их краям наплывов металла определяются условиями и режимами выполнения операции электроэрозионного модифицирования поверхности, в частности, энергией электрического разряда, наличия и свойств применяемой диэлектрической жидкости [4, 5]. Отсюда следует, что путем варьирования режимов и условий электроэрозионного модифицирования