

УДК 621.792.4

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ И УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИМПЛАНТАТОВ НА ПАРАМЕТРЫ ЕЕ ШЕРОХОВАТОСТИ И ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ С ИМИТАТОРОМ КОСТНОЙ ТКАНИ

М. Г. КИСЕЛЕВ⁺, А. В. ДРОЗДОВ, П. О. КОРЗУН, С. Г. МОНИЧ

УО «Белорусский национальный технический университет», пр. Независимости, 65, 220013 г. Минск, Беларусь.

Статья посвящена экспериментальной оценке влияния режимов и условий выполнения операции электроконтактной обработки исходной поверхности образцов металлических имплантатов (сталь 12Х18Н10Т и титановый сплав ВТ1-0) на параметры ее шероховатости и прочность соединения с имитатором костной ткани с использованием фиксирующего материала. Изложены основные положения методики проведения исследований, включая описание экспериментальной установки для выполнения электроконтактной обработки образцов с использованием трех видов электродов-инструментов (роликового, лезвийного, проволочного), а также разработаны методики определения прочности соединения поверхности образца с имитатором костной ткани, отличающийся от ранее используемых применяемым материалом и конструктивным исполнением. Приведены данные, отражающие влияние режимов электроконтактной обработки и используемого для ее выполнения электрода-инструмента на высотные и шаговые параметры шероховатости обработанной поверхности образцов. Также представлены результаты экспериментальных исследований по оценке влияния электроконтактной обработки поверхности образцов имплантатов на прочностные показатели ее соединения с имитатором костной ткани, на основании анализа которых установлены рациональные режимы и условия выполнения операции, обеспечивающие наибольшую прочность указанного соединения.

Введение

Известно [1–3], что состояние поверхности металлического имплантата и, в первую очередь, параметры ее шероховатости существенным образом влияют на уровень прочностных характеристик соединения, получаемого в результате взаимодействия имплантата с биологическими жидкостями и тканями в процессе его интеграции в организме человека. В свою очередь, диапазон изменения параметров шероховатости определяется технологическими возможностями применяемого способа обработки (модифицирования) исходной поверхности заготовки имплантата. На сегодня для выполнения этой операции в основном используются песко- и дробеструйные способы обработки, обеспечивающие формирование на поверхности имплантатов, так называемой, «безразличной» шероховатости, т.е. не имеющей направленных следов обработки. А получаемый при этом микрорельеф представляет собой совокупность перекрывающихся друг друга лунок, образо-

вавшихся в результате ударного воздействия на поверхность твердых минеральных частиц (при пескоструйной обработке) или твердых металлических тел (при дробеструйной обработке). Способы характеризуются узким диапазоном изменения высотных и шаговых параметров шероховатости обработанной поверхности, что существенно ограничивает их технологические возможности.

Для расширения этих возможностей перспективным является использование электроконтактной обработки (ЭКО), которая представляет одну из разновидностей электроэрозионной обработки (ЭЭО). В ее основе лежит явление электрической эрозии, т.е. направленного разрушения токопроводящих материалов за счет их расплавления и испарения под действием кратковременных электрических разрядов, действующих в межэлектродном промежутке (МЭП) между поверхностями инструмента и заготовки. Микрорельеф, получаемый на обработанной поверхности, представляет собой совокупность перекрывающихся друг друга лунок, образовавшихся в результате дейст-

⁺ Автор, с которым следует вести переписку.

вия электрической эрозии, а ее шероховатость также характеризуется отсутствием направленных следов обработки.

В отличие от традиционной электроэрозионной обработки, когда механический контакт между заготовкой и инструментом отсутствует, при электроконтактной обработке однократный акт их взаимодействия характеризуется протеканием двух основных стадий [4]. На первой при достижении между сближающимися поверхностями заготовки и инструмента минимального значения МЭП возникает электрический разряд, вызывающий разрушение материалов. После этого наступает вторая стадия, которая обусловлена протеканием процесса их механического взаимодействия. Следовательно, при ЭКО процесс формирования микрорельефа обусловлен последовательным протеканием указанных стадий, а на его окончательные параметры существенное влияние оказывает стадия контактного взаимодействия поверхностей заготовки и инструмента, материал которых находится в нагретом состоянии за счет протекания предшествующей стадии электрической эрозии. Исходя из этого, оправдано полагать, что при неизменных электрических параметрах выполнения ЭКО, путем изменения кинематических и динамических условий контактного взаимодействия поверхностей заготовки и инструмента, можно влиять на параметры их шероховатости. В свою очередь, эти условия определяются применяемым для разрыва электрической цепи устройством (виброприводом), конструкцией электрода-инструмента, материалом, формой и размером его рабочей части, а также принятыми режимами ее контактного взаимодействия с поверхностью заготовки.

Цель работы заключалась в экспериментальном определении влияния режимов и условий выполнения электроконтактной обработки поверхности образцов металлических имплантатов на параметры ее шероховатости с последующей оценкой их влияния на прочность соединения модифицированной поверхности с имитатором костной ткани, и по результатам – в определении рациональных режимов ЭКО, обеспечивающих наибольшую прочность такого соединения.

Методы проведения исследования

На рис. 1 показана конструкция используемых в исследованиях образцов, которые изготавливали из титанового сплава ВТ1-0 и нержавеющей стали 12Х18Н10Т, т.е. материалов, используемых для производства имплантатов [5].

Выполнялись они в форме плоской шайбы шириной $B = 5$ мм, имеющей две наружных цилиндрических поверхности разного диаметра и центральное отверстие. Торцевая поверхность Б и прилегающий к ней буртик служат для закрепления образца в приспособлении при обработке его рабочей поверхности А, которая представляет со-

бой кольцообразную дорожку шириной 7,5 мм. Шероховатость исходной поверхности имела следующие параметры: $R_a = 1,3$ мкм, $R_z = 6$ мкм; $S_m = 52$ мкм; $t_p = 51,5\%$.

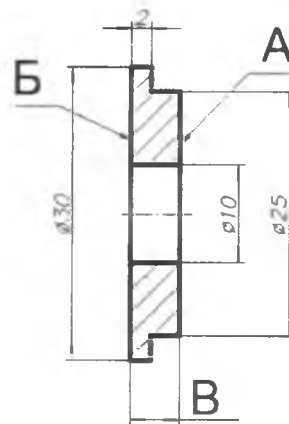


Рис. 1. Схема образца имплантата

ЭКО осуществлялась с использованием трех технологических схем (рис. 2), отличающихся конструкцией рабочей части электрода-инструмента и кинематикой его взаимодействия с поверхностью образца 1. Последний с помощью цилиндрической оправки закреплялся в трехкулачковом патроне настольного токарного станка ТВ-4 и получал вращение вокруг своей оси с частотой n .

Для прерывания электрической цепи в двух технологических схемах (рис. 2, а и б) использовался электромагнитный вибратор 2, закрепленный на поперечном суппорте станка. В одном случае (рис. 2, а) на оси, жестко связанной с якорем электромагнита, устанавливался ролик 3 диаметром 10 мм, а во втором (рис. 2, б) в качестве электрода-инструмента использовалась пластина 4 толщиной 0,8 мм и шириной 10 мм, неподвижно закрепленная на якоре электромагнита. В обоих случаях частота прерывания электрической цепи и амплитуда колебаний якоря электромагнита регулировались за счет изменения частоты и напряжения его питания. В рассмотренных технологических схемах условия контактирования поверхностей заготовки и инструмента характеризуются их периодическим ударным взаимодействием.

В третьей технологической схеме (рис. 2, в) для прерывания электрической цепи используется электромеханический вибратор. Он состоит из электродвигателя постоянного тока с встроенным редуктором (МН-145А), который установлен на поперечном суппорте станка. На его валу смонтирован фланец 5, в котором равномерно по окружности закреплены проволочные электроды-инструменты 6 (латунированная стальная проволока диаметром 0,76 мм), имеющие свободную длину L . Предварительно, за счет перемещения суппорта станка по направлению к обрабатываемой поверхности, они устанавливаются относительно ее с определенным натягом $\delta = L - K$. При вращении вала электродвигателя с частотой $n_{пр}$

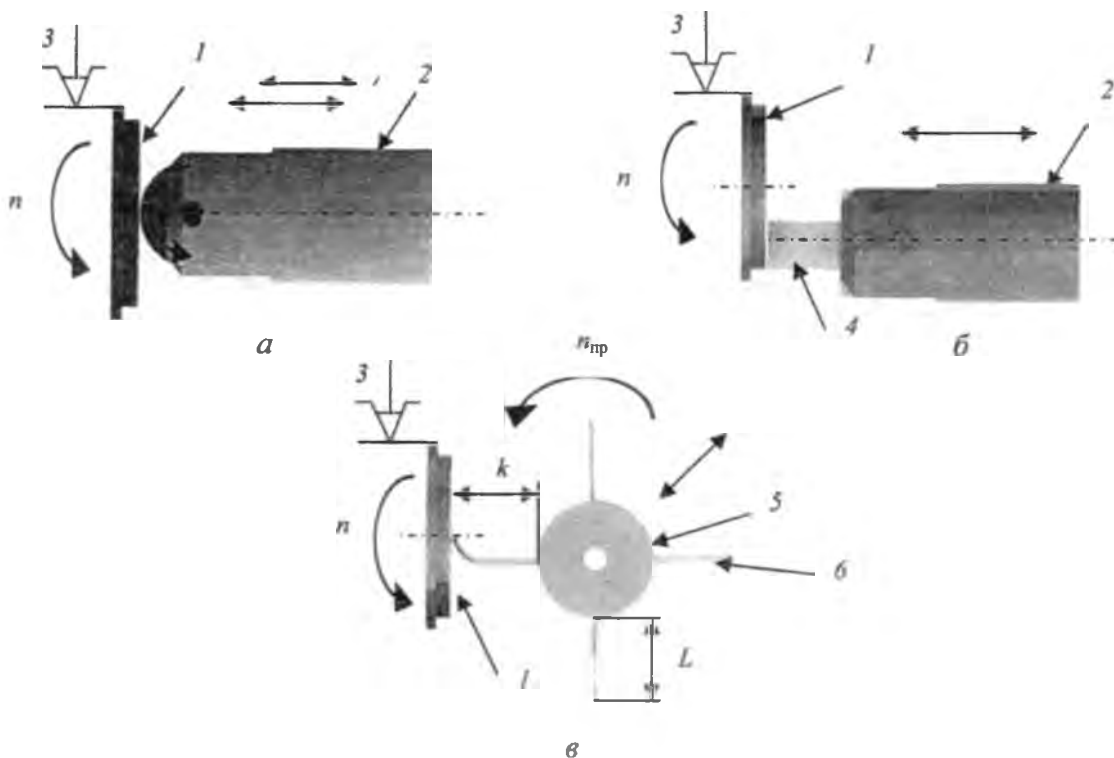


Рис. 2. Схемы ЭКО с применением электрода-инструмента: а – роликового; б – лезвийного; в – проволочного

проволочные электроды-инструменты, периодически контактируя с поверхностью образца, обеспечивают прерывание электрической цепи между ними, а их взаимодействие протекает в условиях ударно-фрикционного нагружения.

Электрическая схема, которой была оснащена установка, включала в себя источник питания постоянного тока с регулируемой величиной напряжения, накопительный конденсатор емкостью 400 мкФ, подключенный параллельно контактирующим поверхностям электродов, и последовательно включенный им токоограничивающий резистор. Электроконтактная обработка образцов осуществлялась при прямой полярности (катодом являлся электрод-инструмент) с использованием в качестве диэлектрической жидкости дистиллированной воды, которая капельно подавалась в зону обработки.

Измерение параметров шероховатости поверхности образцов проводили с помощью профилографа-профилометра Taylor Hobson согласно МИ 40-75 «Методика выполнения измерений параметров шероховатости по ГОСТ 2789-73 при помощи приборов профильного метода». В частности, определяли: R_a – среднее арифметическое отклонение профиля; R_z – высоту неровности профиля по десяти точкам; S_m – средний шаг неровности профиля; t_p – относительную опорную длину профиля. Кроме того, с помощью электронного микрометра (точность отсчета 1 мкм) измерялся размер В на образце (рис. 1) до и после его обработки, по изменению которого определя-

ли высоту наплывов металла, образовавшихся на исходной поверхности в результате ее ЭКО.

В ходе проведения экспериментов варьировались следующие параметры режима электроконтактной обработки образцов. Напряжение на накопительном конденсаторе U изменялось от 60 до 100 В, частота прерывания электрической цепи f – с 5 до 15 Гц, частота вращения образца n изменялась от 360 до 600 мин⁻¹. Продолжительность обработки определялась временем, необходимым для придания всей исходной поверхности образца нового микрорельефа.

Для определения прочностных характеристик соединения модифицированной поверхности образца с фиксирующим материалом использовалась предложенная авторами методика, которая отличается от известной [6] применяемым материалом имитатора костной ткани и его конструкцией. В качестве такого материала предложено использовать пемзу, которая, как и костная ткань, имеет пористую структуру, хотя уступает ей по прочности, но при этом характеризуется постоянным с точки зрения рельефа состоянием исходной поверхности. Поэтому использование пемзы в качестве имитатора костной ткани позволяет обеспечить постоянные и близкие к реальным условия ее взаимодействия с фиксирующим материалом. При этом прочность его соединения с поверхностью пемзы, благодаря ее высокой пористости, оказывается выше, чем прочность соединения с испытуемой металлической поверхностью образца имплантата. По этой причине в ходе испытаний

разрушение соединения будет происходить в месте контакта исследуемой (модифицированной) поверхности образца имплантата с фиксирующим материалом. Измеряя усилие разрушения соединения при различном состоянии микрорельефа поверхности образца имплантата, получим данные, отражающие влияние его параметров, а соответственно, условий и режимов ее модифицирования на прочностные характеристики получаемого соединения.

На рис. 3 представлена конструкция имитатора костной ткани, примененного в исследованиях. Он состоит из стальной цилиндрической трубки (оправки) 1, внутри которой с гарантированным зазором установлен цилиндр 2 из пемзы диаметром 7 мм. С помощью эпоксидной смолы 3 он предварительно приклеивался к внутренней поверхности оправки таким образом, чтобы торец пемзы выступал из трубки на 2,0–2,5 мм.

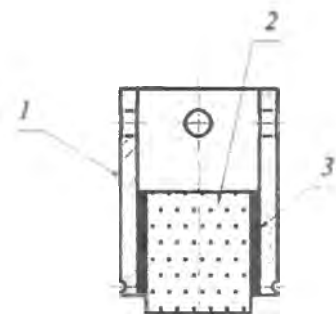
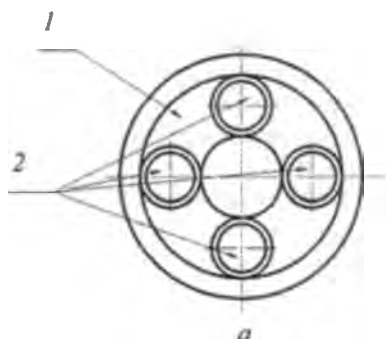


Рис. 3. Конструктивное исполнение образца имитатора костной ткани

Этот припуск необходим для окончательной обработки торцевой поверхности пемзы, в результате которой этот размер уменьшался до 1,0–1,5 мм. На наружной поверхности оправки на расстоянии 1,5 мм от ее торца выполнена проточка, которая предназначена для закрепления нити, связывающей имитатор с устройством нагружения при проведении испытаний на сдвиг. На противоположном конце оправки выполнены четыре равно расположенных отверстия, выполняющих ту же функцию, но при проведении испытаний на отрыв.



Формирование соединения модифицированной поверхности образца имплантата с поверхностью имитатора костной ткани осуществлялось с использованием фиксирующего материала, в частности, стоматологического цемента «Уницем». Для этого на горизонтально расположенную поверхность пемзы равномерным слоем наносился фиксирующий материал. Затем она в соответствующем месте устанавливалась на предварительно обезжиренную и горизонтально расположенную поверхность образца имплантата. Причем на модифицированной поверхности каждого образца 1 имплантата одновременно располагалось четыре имитатора костной ткани 2 (рис. 4, а), что повышает информативность и достоверность предложенной методики. После установки имитаторов на поверхности образца имплантата, они с помощью стальных шариков диаметром 12 мм, установленных в цилиндрические отверстия оправок (рис. 4, б), прижимаются к ней с постоянным усилием равным 0,56 Н. По истечении времени, необходимого для затвердевания фиксирующего материала, прижимные шарики снимаются, и полученные соединения подвергаются соответствующим испытаниям.

Для их осуществления авторами создана специальная установка, позволяющая проводить испытания полученных соединений, как на сдвиг, так и на отрыв. Принципиальная схема и ее общий вид приведены на рис. 5. На массивном основании 1 закреплены две вертикальные стойки 2, связанные между верхней поперечной планкой 3, что обеспечивает высокую жесткость конструкции. Механизм нагружения смонтирован на опорной плите 4, которая прикреплена к вертикальным стойкам в верхней части конструкции. Он состоит из реверсивного электродвигателя 5 (РД-09), на валу которого закреплен винт 6, соединенный с гайкой 7, жестко связанной с направляющей 8. При работе электродвигателя последняя с очень низкой скоростью (2,19 мм/мин) перемещается вдоль вертикальной оси, чем достигается статический режим нагружения.

Для измерения усилия разрушения исследуемого соединения используется электронный ди-



Рис. 4. Схема расположения соединений, получаемой на металлической поверхности образца имплантата (а) и фотография общего вида собранной конструкции (б): 1 – образец металлического имплантата; 2 – образцы имитатора костной ткани; 3 – стальные шарики, установленные в отверстия оправок

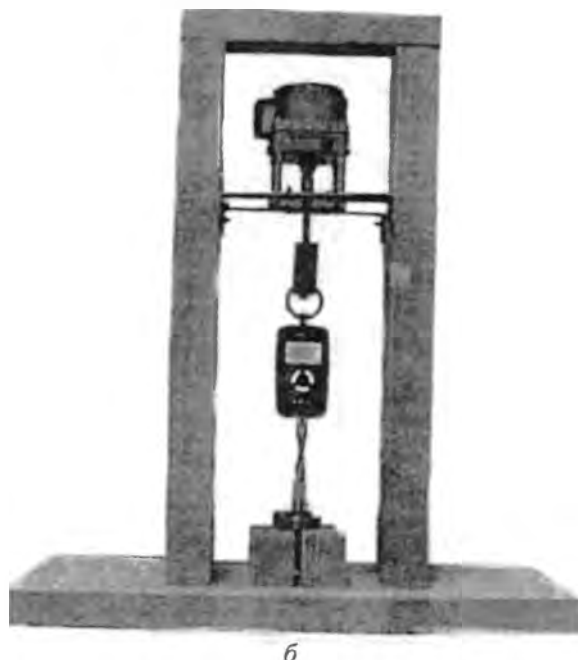
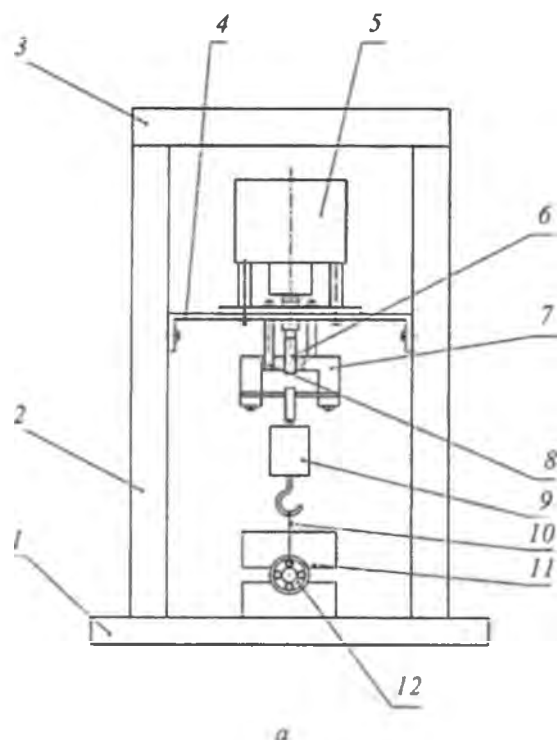


Рис. 5. Принципиальная схема (а) и фотография (б) общего вида установки для проведения испытаний

намометр растяжения 9 (Wei Heng WH-A05) с ценой деления 0,1 Н. Одним зацепом он соединен с подвижной направляющей механизма нагружения, а вторым, с помощью нити 10, связан с металлической оправкой 11 имитатора костной ткани. Причем, в зависимости от вида испытаний (на сдвиг или на отрыв), образец металлического имплантата 12 соответствующим образом ориентируется и закрепляется на основании установки.

В процессе перемещения подвижной направляющей вверх (рабочий ход) происходит плавное нагружение испытуемого соединения вплоть до его разрушения, в момент которого по показаниям динамометра фиксируется значение нагрузки. После этого, направление вращения вала электродвигателя изменяется на противоположное, и направляющая механизма нагружения перемещается вниз (холостой ход) до своего начального положения. Затем образец металлического имплантата переустанавливается на основании установки таким образом, чтобы провести испытания следующего из четырех сформированных на его поверхности соединений. За окончательное значение прочности исследуемого соединения (на сдвиг или отрыв) принимается среднее арифметическое четырех значений разрушающей нагрузки, полученных при испытаниях одного образца металлического имплантата, имеющего неизменные параметры шероховатости его поверхности.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам проведенных исследований получен значительный объем экспериментальных данных, отражающих влияние как режимов и ус-

ловий выполнения электроконтактной обработки поверхности образцов металлических имплантатов на значения параметров ее шероховатости, так и влияние последних на прочностные характеристики соединения их модифицированной поверхности с имитатором костной ткани.

На основании обобщенного анализа этих данных установлено, что доминирующее влияние на изменение высотных и шаговых параметров шероховатости обработанной поверхности оказывают величина напряжения накопительного конденсатора U и форма рабочей части электрода-инструмента. В то время, как частота прерывания электрической цепи, и частота вращения образца (в исследованном диапазоне варьирования их значений) не оказывают существенного влияния на изменение шероховатости обработанных поверхностей. Влияние этих параметров режима ЭКО проявляется в изменении продолжительности ее выполнения до получения на всей исходной поверхности образцов нового микрорельефа. То есть, при прочих равных условиях они, в основном, влияют на производительность выполнения операции, которая в данном случае не является первостепенным технологическим показателем.

На рис. 6 представлены зависимости параметров шероховатости модифицированной поверхности образцов от напряжения накопительного конденсатора и формы рабочей части электрода-инструмента, применяемого в процессе ЭКО.

Из анализа этих данных следует, что по мере увеличения напряжения накопительного конденсатора с 60 до 100 В значение высотного параметра R_a во всех случаях возрастает. Объясняется это

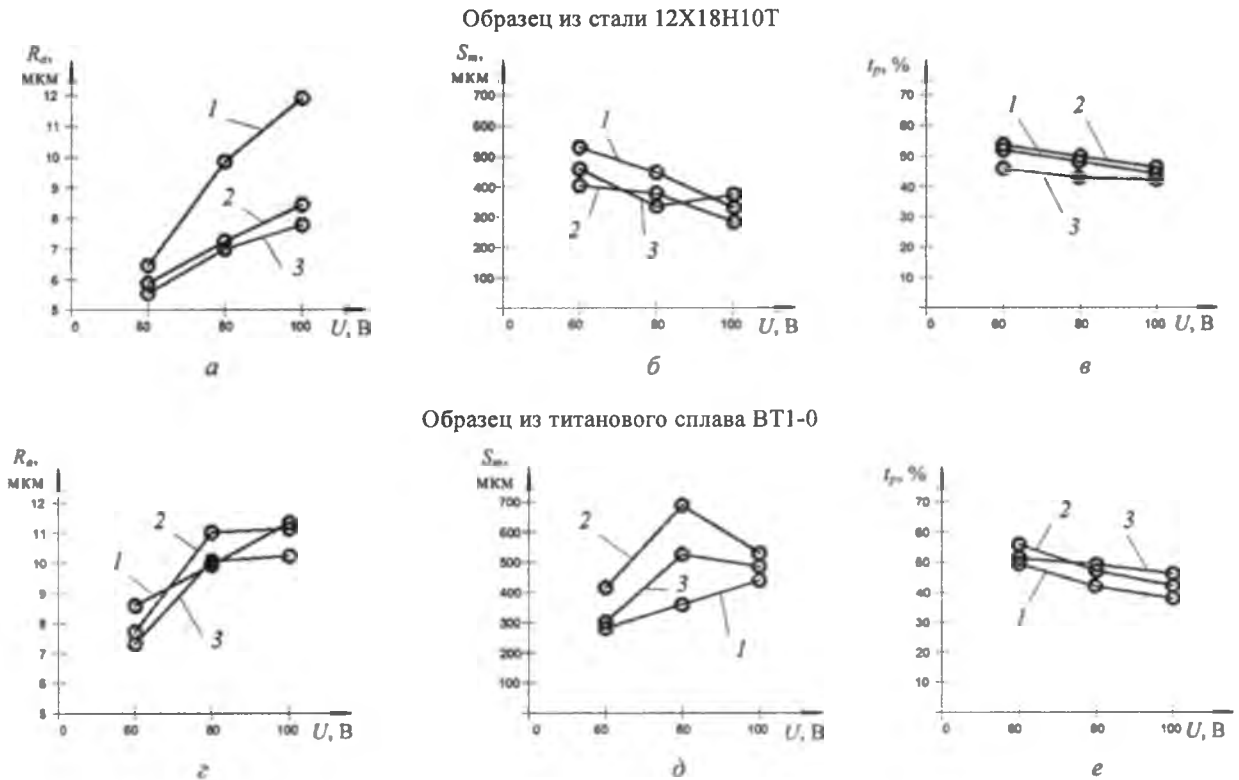


Рис. 6. Зависимость параметров шероховатости модифицированной поверхности образцов от напряжения накопительного конденсатора и формы рабочей части электрода-инструмента, применяемого в процессе ЭКО: 1 – при использовании проволочного электрода-инструмента; 2 – при использовании роликового электрода-инструмента; 3 – при использовании лезвийного электрода-инструмента

увеличением энергии электрического импульса, вызывающего более интенсивное удаление металла с поверхности образца с формированием на ней лунок большей глубины. При этом существенное влияние на изменение параметра R_a оказывает форма рабочей части электрода-инструмента, что особенно проявляется при обработке стального образца проволочным электродом-инструментом. В то время как для образца из титанового сплава форма рабочей поверхности электрода-инструмента в меньшей степени влияет на изменение значения параметра R_a .

Как показали измерения параметра B (рис. 1) на образцах до их обработки (B_0) и после ($B_{обр}$), в результате ЭКО его значение во всех случаях возрастает. Это связано с формированием на исходных поверхностях наплывов (выступов) застывшего металла, образовавшихся за счет его выброса в расплавленном состоянии из лунки. Из полученных экспериментальных данных следует, что высота этих наплывов ($h = B_{обр} - B_0$) зависит от напряжения накопительного конденсатора, с увеличением которого она возрастает, а также формы рабочей части электрода-инструмента. Так, при прочих равных условиях, наибольшее значение h имеет место при использовании проволочного электрода-инструмента (рис. 7), а наименьшее – роликового инструмента.

С повышением напряжения накопительного конденсатора при обработке стального образца

наблюдается уменьшение значения как шагового параметра S_m шероховатости его поверхности, так и величины относительной опорной длины профиля t_p . При ЭКО образца из титанового сплава значение параметра S_m в диапазоне изменения U с 60 до 80 В возрастает, а при больших напряжениях накопительного конденсатора – снижается, в то время как величина параметра t_p практически линейно снижается по мере увеличения U .

Анализ полученных экспериментальных данных, отражающих влияние параметров модифицированной поверхности образцов имплантатов на прочностные показатели ее соединения с имитатором костной ткани, позволил определить режимы и условия выполнения ЭКО, обеспечивающие наибольший уровень этих показателей. Их численные значения и соответствующие им режимы и условия электроконтактной обработки поверхности образцов представлены на рис. 8.

Из них следует, что по сравнению с исходной поверхностью, ее модифицирование за счет ЭКО позволяет существенно повысить прочностные показатели ее соединения с имитатором костной ткани. При этом наибольшие значения показателей прочности этого соединения как на сдвиг, так и на отрыв обеспечивает модифицированная поверхность, полученная при ЭКО с использованием проволочного электрода-инструмента при напряжении накопительного конденсатора U равном 100 В. Шероховатость обработанной поверхности

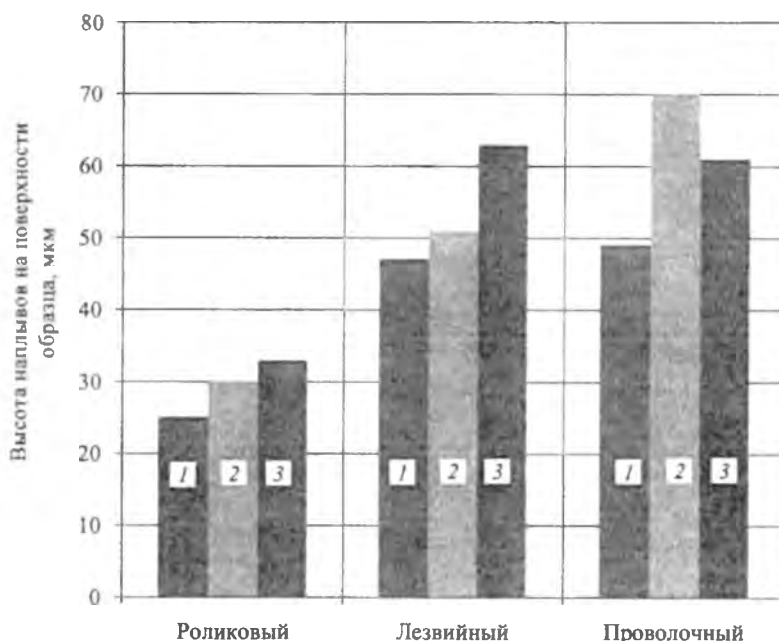


Рис. 7. Зависимость приращений высоты образцов металлических имплантатов от применяемого электрода-инструмента и напряжения накопительного конденсатора: 1 – $U = 60$ В; 2 – $U = 80$ В; 3 – $U = 100$ В

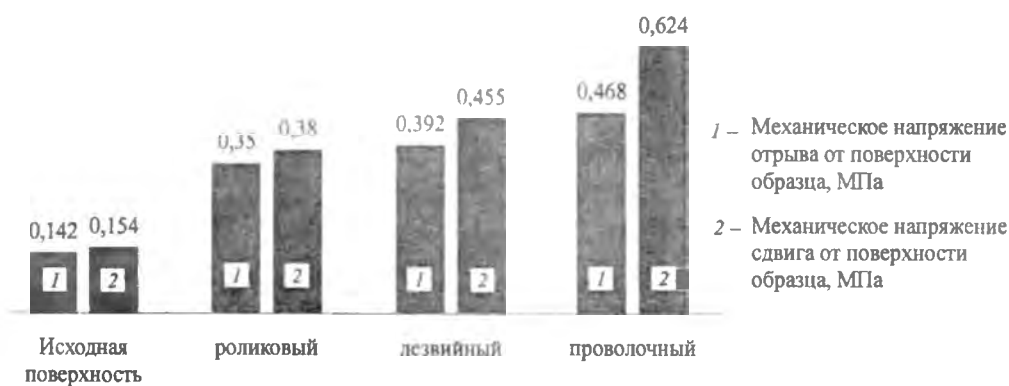


Рис. 8. Зависимость прочностных показателей образцов металлических имплантатов от типа применяемого электрода-инструмента и при напряжении на накопительном конденсаторе $U = 100$ В

в этом случае характеризуется следующими значениями ее параметров: $R_a = 9,8$ мкм; $R_z = 42$ мкм; $S_m = 468$ мкм; $t_p = 48\%$ и $h = 38$ мкм.

По сравнению с прочностными показателями соединения, полученного в исходном состоянии поверхности образца, ее модифицирование, при указанных условиях выполнения ЭКО, повышает значения напряжений на отрыв и на сдвиг, соответственно в 3,29 и 4,13 раза.

Несколько меньший уровень прочностных показателей соединения достигается при использовании в процессе ЭКО лезвийного электрода-инструмента при $U = 80$ В ($R_a = 7,0$ мкм; $R_z = 71$ мкм; $S_m = 345$ мкм; $t_p = 52\%$ и $h = 54$ мкм). Наименьшее повышение прочностных показателей соединения наблюдается у модифицированной поверхности, полученной с применением в процессе ЭКО роликового электрода-инструмента при $U = 80$ В ($R_a = 7,2$ мкм; $R_z = 48$ мкм; $S_m = 395$ мкм; $t_p = 50\%$ и $h = 38$ мкм). Так, в сравнении со значениями прочности соединения исходной

поверхности образца с имитатором костной ткани, ее модифицирование с использованием роликового электрода-инструмента повышает прочность на отрыв в 2,43 раза и на сдвиг – в 2,53 раза.

Выводы

1. Показано, что с целью расширения технологических возможностей по целенаправленному модифицированию исходной поверхности заготовок металлических имплантатов перспективным является использование электроконтактной обработки (ЭКО), которая, также как и традиционно применяемые песко- и дробеструйная обработки, обеспечивает формирование на ней «безразличной» шероховатости, но в отличие от них позволяет в значительно большем диапазоне изменять ее высотные и шаговые параметры.

2. На базе настольного токарного станка ТВ-4 создана экспериментальная установка, позволяющая осуществлять ЭКО исходной поверх-

ности образцов металлических имплантатов (сталь 12Х18Н10Т и титановый сплав ВТ1-0) с использованием трех технологических схем, отличающихся применяемым для прерывания электрической цепи устройством (электромагнит и электродвигатель постоянного тока), а также формой рабочей части электрода-инструмента (проволочный, лезвийный и роликовый).

3. Для количественной оценки прочностных показателей соединения модифицированной поверхности образцов с имитатором костной ткани, в качестве материала последнего предложено использовать пемзу, которая, как и костная ткань, имеет пористую структуру, хотя уступает ей по прочности, но характеризуется постоянством параметров микрорельефа поверхности, что позволяет обеспечить постоянные и близкие к реальным условия ее взаимодействия с фиксирующим материалом.

4. Создана конструкция имитатора костной ткани и разработана методика формирования соединения с ним поверхности образца металлического имплантата, основанная на использовании фиксирующего материала (стоматологический цемент «Уницем»), позволяющая на одном образце одновременно получать четыре соединения, что повышает информативность и достоверность предложенной методики.

5. С использованием электронного динамометра растяжения (Wei Heng WH-A05) с ценой деления 0,1 Н создана экспериментальная установка, позволяющая измерять прочность полученного соединения имитатора костной ткани с поверхностью образца при его испытаниях на отрыв и на сдвиг.

6. На основании обобщенного анализа полученных экспериментальных данных, отражающих влияние режимов и условий выполнения электроконтактной обработки поверхности образцов на значение параметров ее шероховатости, установлено следующее:

- доминирующее влияние на их изменение оказывают напряжение накопительного конденсатора U и форма рабочей поверхности электрода-инструмента, а частота прерывания электрической цепи, равно как и частота вращения образца (в исследованном диапазоне их варьирования) практически не оказывают ощутимого влияния на изменение параметров шероховатости обработанной поверхности. Их действие, главным образом, связано с изменением продолжительности выполнения ЭКО до получения на всей исходной поверхности образца нового микрорельефа, т.е. производительности операции, которая в данном случае не является первостепенным технологическим показателем;

- по мере повышения напряжения накопительного конденсатора с 60 до 100 В при ЭКО поверхности образцов значение параметра R_a ее шероховатости во всех случаях возрастает, что объ-

ясняется увеличением энергии электрического импульса, вызывающего формирование на поверхности образца лунок большего размера и с большей глубиной. Наиболее интенсивное влияние величины U на изменение параметра R_a наблюдается при использовании проволочного электрода-инструмента, в то время как при обработке титанового образца форма рабочей поверхности электрода-инструмента в значительно меньшей степени влияет на изменение значения параметра R_a ;

- с повышением напряжения накопительного конденсатора при обработке стального образца значения как шагового параметра S_m шероховатости обработанной поверхности, так и относительной опорной длины профиля t_p снижаются. При ЭКО поверхности титанового образца в диапазоне изменения U с 60 до 80 В значение параметра S_m возрастает, а при больших значениях U оно снижается, в то время как величина t_p практически линейно падает с увеличением значения U ;

- в процесс ЭКО исходной поверхности образцов на ней формируются характерные наплывы (выступы) застывшего металла, образовавшиеся в результате его выброса из лунки в расплавленном состоянии. Высота этих наплывов h зависит от напряжения накопительного конденсатора, с увеличением которого она возрастает, а также от формы рабочей части электрода-инструмента. Так при прочих равных условиях наибольшее значение h имеет место при использовании в процесс ЭКО проволочного электрода-инструмента, а наименьшее – роликового.

7. На основании обобщенного анализа полученных экспериментальных данных, отражающих влияние параметров шероховатости модифицированной поверхности образцов на прочность ее соединения с имитатором костной ткани, установлено следующее:

- во всех случаях модифицирование исходной поверхности образцов за счет ее электроконтактной обработки позволяет повысить прочность ее соединения с имитатором костной ткани;

- наибольшие значения показателей прочности этого соединения как на сдвиг, так и на отрыв обеспечивает модифицированная поверхность, полученная при ЭКО с использованием проволочного электрода-инструмента, несколько меньшие значения эти показатели имеют место при использовании лезвийного, а их минимальным значениям соответствует обработка исходной поверхности роликовым электродом-инструментом;

- определены рациональные режимы и условия выполнения ЭКО исходной поверхности образцов металлических имплантатов, обеспечивающие наибольшую прочность ее соединения с имитатором костной ткани. Это обработка проволочным электродом-инструментом с натягом $\delta = 3$ мм, при напряжении накопительного конденсатора $U = 100$ В (емкостью 400 мкФ), при

частоте прерывания электрической цепи $f = 10$ Гц и частоте вращения образца $n = 480$ мин⁻¹. По сравнению с прочностными показателями соединения, полученного в исходном состоянии поверхности образца, ее модифицирование при указанных условиях и режимах выполнения ЭКО повышает значения напряжений на отрыв и на сдвиг, соответственно, в 3,3 и 4,1 раза.

Литература

1. Димитрович, Д.А. Изучение влияния физических методов обработки поверхности титана на рост колоний клеток-предшественников костной ткани / Д.А. Димитрович, В.А. Иванов // Прикладная физика. – 2009. – № 2. – С. 35–43.
2. Киселев, М.Г. Исследование явления переноса материала с инструмента на обрабатываемую поверхность имплантата при его электроконтактной обработке с ультразвуком / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.А. Борисов // Материалы 7 Международной научно-технической конференции «Современные методы и технологии создания и обработки материалов». – Минск, 2012. – С. 88–93.
3. Киселев, М.Г. Теоретическое обоснование рациональных параметров режима электроконтактной обработки проводящего инструмента / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, А.В. Москаленко, П.С. Богдан, С.Г. Монич // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2012. – № 3. – С. 3–10.
4. Киселев, М.Г. Влияние электроконтактной обработки с ультразвуком на параметры поверхностей титановых имплантов / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.А. Борисов // Материалы VI Международной научно-технической конференции «Современные методы и технологии создания и обработки материалов». – Минск, 2011. – С. 129–136.
5. Савич, В.В. Модификация поверхности титановых имплантатов и ее влияние на их физико-химические и биомеханические параметры в биологических средах / В.В. Савич, Д.И. Сарока, М.Г. Киселев, М.Г. Макаренко; под научн. ред. В.В. Савича. – Мн.: «Беларус. навука», 2012. – 244 с.
6. ГОСТ Р 52641–2006. Имплантаты для хирургии. Стандартный метод испытаний для проверки на сдвиг фосфатно-кальциевых и металлических покрытий. – М.: «СтандартИнформ», 2007. – 15 с.

Kiselev M. G., Drozdov A. V., Korzun P. O., and Monich S. G.

Metal implants samples electrocontact processing surface influence and conditions for its roughness and strength options of the connection with the simulator bone.

The article is devoted to the experimental evaluation of the influence of modes and conditions of operation with electrocontact processing of the initial surface samples of metallic implants (12X18H10T steel and titanium alloy VT1-0) on the parameters of its roughness and the strength of its connection with the simulator using a bone fixation material. The basic position of research techniques, including a description of the experimental setup to perform electric-sample processing with three types of electrode-tool (roller, blade, wire), and developed methods for determining the strength of the connection surface of the sample bone with the simulator, wherein the previously used applicable material and structural performance. The data concerning the influence of electric-mode processing and used for its performance electrode tool for high-rise and stepper machined surface roughness of the samples. Also the results of experimental studies on the effect of electric-treatment sample surfaces of implants on the strength characteristics of its junction with the simulator bone on the basis of the analysis are established rational modes and conditions of operation that ensure the greatest strength of the compound.

Поступила в редакцию 06.05.2013.

© М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, П. О. Корзун, С. Г. Монич, 2013.