

УДК 621.791

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОХИРУРГИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ БИПОЛЯРНОЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СВАРКИ

*канд. техн. наук А.Г. ДУБКО; канд. техн. наук Н.А. ЧВЕРТКО*  
*(Институт электросварки им. Е.О. Патона, НАН Украины, Киев);*  
*д-р техн. наук, проф. А.В. ЛЕБЕДЕВ*  
*(Национальный технический ун-т Украины*  
*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»)*

*Представлено комплексное исследование по применению токов высокой частоты в хирургической практике. Разработана широкая гамма оборудования, в состав которого входят электрохирургические инструменты. Важнейшим элементом конструкции таких инструментов служит покрытие, обеспечивающее надежную работу при многократном их использовании, соответствуя при этом ряду медицинских, санитарно-гигиенических и технических требований. По результатам испытаний для серийного выпуска многократного электрохирургического инструмента выбрано покрытие «TIGER-Drylac», которое сегодня успешно применяется при изготовлении серийно выпускаемых электрохирургических инструментов для широко используемого в клиниках Украины сварочного комплекса ЕКВ3-300 «Патонмед».*

**Ключевые слова:** *высокочастотная сварка, электрохирургические инструменты, химическая стойкость покрытий, живые биологические ткани, биосовместимость, электробезопасность.*

Использование возможностей соединения биологических тканей сваркой с целью улучшения здоровья человека и качества его жизни является в настоящее время одним из приоритетных направлений научных исследований. В Институте электросварки имени Е.О. Патона ведутся комплексные исследования по применению токов высокой частоты в хирургической практике, разработана широкая гамма оборудования, в состав которого входят электрохирургические инструменты. Важнейшим элементом конструкции таких инструментов служит покрытие, обеспечивающее надежную работу при многократном их использовании. Покрытие электрохирургических инструментов должно соответствовать целому ряду медицинских, санитарно-гигиенических и технических требований, основными из которых являются: биосовместимость, электробезопасность, химическая стойкость к дезинфицирующим и стерилизующим растворам, механическая прочность, обеспечение равномерности и однородности нанесения (отсутствие пор, включений), эстетический внешний вид.

Авторами представляемой работы проведены многочисленные эксперименты по испытаниям покрытий медицинских инструментов, рекомендуемых для применения в медицинской практике: цианид-акрил; эпоксикремнеорганическая эмаль; специальный лакокрасочный материал; полиэтилен; порошковое покрытие в композиции с эпоксиполиэфирными смолами (TIGER-Drylac). По результатам испытаний для серийного выпуска многократного электрохирургического инструмента выбрано покрытие «TIGER-Drylac». Электрохирургический инструмент с таким покрытием был успешно испытан при проведении хирургических операций на животных. Сегодня покрытие «TIGER-Drylac» успешно применяется при изготовлении серийно выпускаемых электрохирургических инструментов для сварочного комплекса ЕКВ3-300 «Патонмед», который широко используется в клиниках Украины.

В Институте электросварки (ИЭС) им. Е.О. Патона в настоящее время ведутся комплексные исследования по применению токов высокой частоты в хирургической практике [1–4]. Разработана широкая гамма аппаратуры, в состав которой входят биполярный высокочастотный аппарат и электрохирургические инструменты.

По сравнению с традиционными механическими (ниточные, скобковые, клеевые), электрическими (лазерные, плазменные) и другими известными методами, которые применяются в хирургической практике для резания, коагуляции и соединения сваркой живых биологических тканей, такие сварочные комплексы имеют ряд существенных преимуществ [5].

Важнейшим элементом конструкции биполярных электрохирургических инструментов служит покрытие, которое наносится на поверхность его браншей и электродов. Покрытие необходимо для обеспечения электробезопасности медицинского персонала, защиты пациента при проведении оперативного вмешательства и эстетического внешнего вида инструментов. При этом важной задачей является необходимость обеспечения адгезионной прочности, равномерности и однородности покрытия по всей поверхности нанесения, отсутствия посторонних включений, пор и возможности нанесения маркировки на инструмент. Также необходимо учитывать, что применение биполярных инструментов в операционной обу-

словливает контактирование электродных поверхностей с живой биологической тканью, поэтому покрытие должно быть изготовлено из биосовместимых материалов, соответствовать токсикологическим, санитарно-гигиеническим и медицинским требованиям.

В связи с необходимостью дезинфекции и стерилизации электрохирургических инструментов перед операциями покрытия должны быть стойкими к стерилизующим и дезинфицирующим растворам.

Известные зарубежные фирмы различных стран Европы и Америки выпускают электрохирургические инструменты одноразового применения, которые после операций утилизируются. В большинстве случаев такие инструменты имеют полимерное покрытие тефлоном [6].

По ряду причин электрохирургические инструменты отечественного производства являются многоразовыми, что влечет за собой, кроме перечисленных выше, несколько важнейших специфических требований к ним самим и к их покрытиям. В связи с вышеизложенным делаем вывод – покрытия электрохирургических инструментов должны обладать рядом свойств, определяемых условиями их работы. Первоочередными требованиями являются адгезионная прочность, электробезопасность и стойкость при проведении предоперационной подготовки, а именно мероприятий по дезинфекции и стерилизации; при минимально возможной толщине слоя покрытие электрохирургических инструментов должно выдерживать испытания на электробезопасность (пробой) [7; 8].

Обычно применяемые механические медицинские инструменты (пинцеты, зажимы и др.) изготавливают из нержавеющей стали (типа 12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т).

При разработке и изготовлении электрохирургических инструментов к дистальным концам их браншей серебряными припоями (типа ПСр-50) припаивают биполярные электроды, материалом которых являются медь М1, композит медь-молибден [9] и некоторые другие биосовместимые материалы, затем на поверхности: браншей, места пайки и наружных поверхностей электродов наносится изоляционное покрытие.

Для получения разрешительных документов на использование электрохирургических инструментов в операционной нами проведен полный объем испытаний: проверка изоляции электрохирургического инструмента на пробой; проверка стойкости к дезинфекции (проводится перед стерилизацией); проверка стойкости к стерилизации инструментов стерилизующими реагентами; проверка механической стойкости инструмента в случае его свободного падения [7].

Совместно с медицинскими работниками нами исследованы и проверены на образцах живых тканей ряд покрытий электрохирургических инструментов, имеющих характеристики, необходимые для создания многоразовых инструментов для сварки, резки и коагуляции живых тканей, и разрешенных для применения в клинических условиях. В процессе проведения клинических испытаний электрохирургических инструментов придерживались принципов биоэтики, законодательных норм и требований по проведению таких испытаний: Хельсинской декларации (2000 г.); Конституции и Гражданского кодекса Украины (1996 и 2006 г. соответственно); Основ законодательства Украины об охране здоровья 1992 г.; Постановления по клиническим исследованиям Министерства здравоохранения Украины № 66 «Про затвердження порядку проведення клінічних випробувань лікарських засобів та експертизи матеріалів клінічних випробувань і типового положення про комісію з питань етики» (2006 г.); Закона Украины № 3447-IV «Про захист тварин від жорстокого поводження» (2006 г.).

Авторами были изучены литературные данные [10], в которых содержатся рекомендации по материалам, разрешенным к использованию в медицинской практике: полиэтилен, поликарбонаты, полимеры, терифтолат, политетрафторэтилен (тефлон), полипропилен, полиуретаны, цианид-акрил.

Согласно техническим требованиям, предъявляемым к электрохирургическому инструменту медицинского назначения, а также учитывая стоимость и некоторые другие аспекты его применения, из вышеперечисленных видов покрытий реальные эксперименты были проведены только выборочно, на наиболее подходящих из них. Надо отметить, что выбор покрытия электрохирургических инструментов многоразового применения проводили с учетом соблюдения медицинских правил и норм по их применению в медицинской практике. Это служило ориентиром во всех наших экспериментах.

Электрохирургические инструменты с *клеевым покрытием «цианид-акрил»* разработки Института органической химии НАН Украины были испытаны при проведении хирургических операций на крысах и кроликах. Данное покрытие наносится методом полимеризационного окрашивания, не нуждается в последнем нанесении, в связи с чем не возникает прослойки, наличие которых приводит к неравномерности распределения сил сцепления покрытия с основой. Одновременно может быть нанесено однородное покрытие толщиной от 50 до 320 мкм. Первые эксперименты проводили на образцах электрохирургических пинцетов в количестве 20 штук. Был проведен цикл предоперационных процедур по дезинфекции хирургического инструмента с помощью муравьиной кислоты (50 мл муравьиной кислоты из 100 мл перекиси водорода с добавлением дистиллированной воды (весь объем – 5 л). Этот раствор, по нашим данным, наиболее часто применяется в клиниках. После дезинфекции эти инструменты были испытаны в операционной при проведении оперативных вмешательств на животных (крысах). При температуре нагревания биологических тканей 75...85 °С пинцеты выдерживали не больше 3-х операций.

Испытания *тефлоновых покрытий*, нанесенных на электрохирургические инструменты, несмотря на их высокотемпературные характеристики, были неудачными. Сразу после стерилизации нагрев электродов и биологической ткани при прохождении высокочастотного тока приводит к разрушению этих покрытий.

Дальнейшие исследования касались разработки технологии нанесения на электроды и бранши биполярного электрохирургического инструмента защитных кремнийорганических покрытий [11; 12] и проведения соответствующих испытаний. Эти покрытия были разработаны на кафедре химии вяжущих полимеров и композитных материалов Национального университета (КПИ имени Игора Сикорского) под руководством доктора технических наук, профессора В.А. Свидерского.

*Двухкомпонентная эмаль ЭКО-501 в качестве покрытия* представляет собой суспензию пигментов и наполнителей в синтетическом пленкообразующем модифицированном растворе эпоксидной смолы на основе кремнийорганического лака, которое приводится в твердое состояние с помощью полиэтиленполиамин, имеет все необходимые санитарные разрешения и выпускается серийно. Эмаль ЭКО-501 соответствует техническим и медицинским требованиям, необходимым для изготовления биполярного электрохирургического инструмента.

Для электрохирургических инструментов, работающих в условиях максимальных режимов биполярной высокочастотной коагуляции, резки и сварки больших объемов живых тканей (например, при абдоминальных онкологических операциях), на кафедре химии вяжущих полимеров и композитных материалов Национального университета (КПИ) разработана специальная технология многослойного нанесения покрытия на электроды и бранши электрохирургических инструментов. Для этого использовали *лакокрасочный материал (ЛКМ)*, после нанесения которого производили «запекание» в печи при температуре 1100 °С и долговременную выдержку при комнатной температуре.

Важнейшей характеристикой является адгезия покрытий, которая зависит от многочисленных факторов и обусловлена взаимодействием между молекулами контактирующих тел. При оценке адгезионной прочности решающее значение имеет площадь контакта покрытия с поверхностью деталей медицинского инструмента [13]. Для получения необходимой адгезионной прочности покрытия с основным материалом браншей электроинструмента и электродного материала (не менее 10 МПа) разработана технология нанесения *прослойки окиси циркония* методом микроплазменного напыления на предварительно очищенную поверхность электрохирургического инструмента. Эта прослойка дает возможность обеспечить определенную шероховатость поверхности, на которую наносится *кремнийорганическое покрытие*, увеличивая при этом адгезионную прочность покрытия. Окись циркония характеризуется малым коэффициентом теплового расширения и стойкостью к химическим воздействиям. Прослойка окиси циркония с малым коэффициентом теплового расширения позволяет уменьшить разницу коэффициентов теплового расширения материалов, из которых изготавливается электрохирургический инструмент и его покрытие, что позволяет значительно снизить опасность механического разрушения покрытия. Покрытия электрохирургического инструмента, полученные по описанной выше технологии, также обеспечивают химическую стойкость к стерилизующим и дезинфицирующим растворам, что необходимо при проведении стерилизации электрохирургического инструмента; сохранение диэлектрических свойств при протекании переменного тока напряжением, составляющим 1500 В, в течение 60 секунд; стойкость без разрушения в течение 300 циклов работы высокочастотного аппарата на максимальных режимах при температуре до 120 °С.

Опытная партия электрохирургических инструментов в количестве 50 штук с *покрытием ЭКО-501* опробована на воздействие термических нагрузок при испытаниях на термоциклирование, которые проводились при следующих условиях: нагрев до +300 °С в течение 1 минуты; охлаждение воздухом на протяжении 10 минут (до комнатной температуры). Все электроинструменты выдержали 193 цикла «нагрев – охлаждение», что является достаточно хорошим показателем работоспособности испытанного покрытия.

В качестве возможного покрытия многоцветных электрохирургических инструментов авторами также был испытан *полиэтилен*, который широко применяется в медицинской практике и пищевой промышленности. Полиэтилен наносился на поверхность электрохирургических инструментов в виде суспензии из тонкоизмельченного полимера, растворителя, воды и стабилизатора. Суспензия, подогретая до 260...275 °С, наносилась на инструмент распылением. Основным препятствием, которое не позволяет применить эти покрытия для изготовления многоцветных электрохирургических инструментов, являлось то, что полиэтилен не выдерживает основного требования, предъявляемого к покрытию: размягчается («плавает») при нагревании выше 80 °С.

Несмотря на некоторые отмеченные положительные результаты испытанных авторами покрытий, для производства многоцветного электрохирургического инструмента они оказались непригодными.

При дальнейшем выборе покрытия, соответствующего требованиям производства многоцветного электрохирургического инструмента, нами было выбрано полимерное покрытие *«TIGER-Drilac»* (производства Tiger Coating GmbH Co., Австрия), которое отвечает всем требованиям действующего санитарного законодательства Украины, критериям безопасности, имеет сертификат качества, в котором указаны основ-

ные его характеристики. Срок действия сертификата постоянно обновляется. Механические свойства этого покрытия, температура плавления, химическая стойкость определяются международными нормативами.

Покрытие «TIGER-Drilac» создано на основе насыщенных сложных полиэфиров в композиции с эпоксиполиэфирными смолами, пигментами и наполнителями. Совместно с Институтом химии высокомолекулярных соединений НАН Украины по методике, описанной в [9], были выполнены токсиколого-гигиенические исследования и обобщены их результаты, оформленные в виде доклинических испытаний покрытия «TIGER-Drilac», нанесенного на электрохирургические инструменты (пинцеты). При этом подтверждена безопасность покрытия «TIGER-Drilac» по раздражающему и сенсибилизирующему влиянию на подопытных животных, сделано заключение, что полимерное покрытие «TIGER-Drilac», нанесенное на образцы сварочных биполярных хирургических инструментов (пинцетов), отвечает всем нормативным требованиям, которые предъявляют к данному виду материалов, и является безопасным для применения по назначению, т.е. в медицинской практике.

Для получения свидетельства о государственной регистрации на серийный выпуск сварочного комплекса «Электрокоагулятор высокочастотный сварочный ЕКВЗ-300», в состав которого входят электрохирургические инструменты, проведены квалификационные испытания, и согласно Программе этих испытаний электрохирургический инструмент был проверен по всем действующим санитарным нормам [15; 16].

Проверка устойчивости к дезинфекции электрохирургического инструмента осуществлялась путем погружения инструмента в 0,1%-ный раствор Экотаб-форте (производства фирмы «Новомед», Россия) в течение 1 минуты, с последующей промывкой проточной водой; после этого промывали дистиллированной водой для удаления солевого налета.

Проверка устойчивости к стерилизации электрохирургического инструмента производилась химическими методами путем погружения инструмента в химические растворы:

- 1) инструмент с предварительно нанесенным покрытием погружали в 6%-ный раствор перекиси водорода и выдерживали в течение 6 ч, затем промывали 10-ю литрами стерильной дистиллированной воды;
- 2) инструмент с предварительно нанесенным покрытием замачивали в 1%-ном растворе Экотаб-форте в течение одного часа, промывали 10-ю литрами стерильной дистиллированной воды;
- 3) инструмент с предварительно нанесенным покрытием замачивали в 8%-ном растворе Лизоформин 3000 (производства фирмы «Лизоформ Др. Ханс Роземан ГМБХ») в течение одного часа, промывали 10-ю литрами стерильной дистиллированной воды;
- 4) инструмент с предварительно нанесенным покрытием замачивали в 5%-ном растворе Корзолекс-базик (производства «Боде Хеми ГмбХ») в течение 4-х часов, промывали 10-ю литрами стерильной дистиллированной воды.

В итоге были получены положительные результаты испытаний: после двадцати циклов каждого из проведенных испытаний внешний вид поверхностей электрохирургического инструмента с покрытием «TIGER-Drilac» не изменился.

«Базовый» комплект биполярных электрохирургических инструментов (пинцеты и зажимы) входит в состав сварочного комплекса «Электрокоагулятор высокочастотный сварочный ЕКВЗ-300». Данный комплект имеет свидетельство о государственной регистрации № 14574/2015, которое удостоверяет, что прошедший процедуру государственной регистрации комплекс в полной мере соответствует всем санитарным и гигиеническим нормам, установленным на территории Украины.

На рисунке 1 представлен сварочный комплекс ЕКВЗ-300 [14].



Рисунок 1. – Сварочный комплекс ЕКВЗ-300

На рисунке 2 показаны в качестве примера серийно выпускаемые биполярные электрохирургические инструменты с покрытием «TIGER-Drylac», предназначенные для применения в составе сварочного комплекса ЕКВЗ-300.

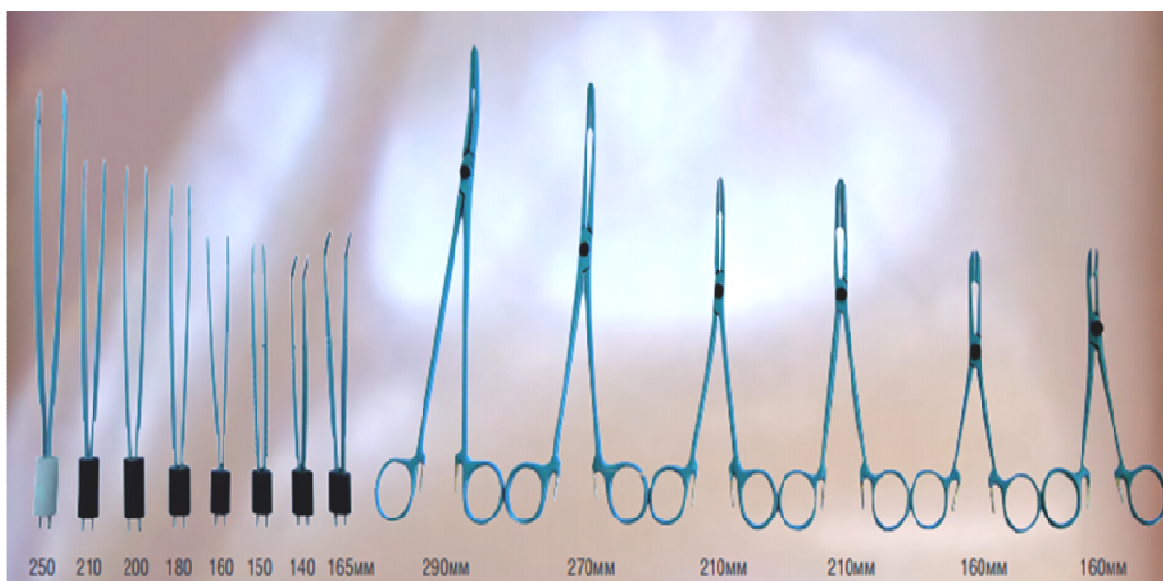


Рисунок 2. – Пример серийно выпускаемых биполярных электрохирургических инструментов

Использование возможностей, предоставляемых новыми технологиями сварки биологических тканей с целью улучшения здоровья человека и качества его жизни, является в настоящее время одним из приоритетных направлений научных исследований ИЭС им. Е.О. Патона совместно с рядом медицинских учреждений Украины, начатых еще в 1990-х годах.

Способ высокочастотной сварки живых тканей, разработанный в ИЭС, показал свою эффективность и успешно используется в медицинской практике уже более 10 лет [17–20]. За это время освоено более сотни различных хирургических методик и успешно выполнено более двухсот тысяч хирургических операций в таких областях, как общая и абдоминальная хирургия, травматология, пульмонология, проктология, урология, маммология, оториноларингология, гинекология, офтальмология и др.

На сегодняшний день, по нашим оценкам, в Украине на аппаратах, разработанных в Институте электросварки им. Е.О. Патона, выполняется в среднем от 15 до 20 тыс. операций в год.

По сравнению с традиционными технологиями, применяемыми в хирургии, способ высокочастотной сварки живых тканей обеспечивает:

- бескровное, быстрое, удобное для хирурга и малотравматичное для пациента выполнение оперативных вмешательств; надежный гемостаз;
- снижение кровопотери (более чем на 50%);
- сокращение продолжительности операций на 20...50%;
- высокую степень невозвращения онкологических процессов (абластичности);
- отсутствие нагноений;
- быструю и полноценную послеоперационную реабилитацию;
- возможность хирургического лечения больных, которые считались неоперабельными [21; 22].

Преимущества этого способа подтверждены многочисленными отзывами хирургов, а также неоднократно отмечались в докладах, представленных на международных научно-практических конференциях [23–29].

По отзывам оперирующих хирургов, *сварочный комплекс ЕКВЗ-300*, выпускающийся серийно в Украине, имеет ряд существенных преимуществ перед традиционно применяемым оборудованием, а покрытие электрохирургических инструментов «TIGER-Drilac» является стойким к химическим реактивам, безопасным как для пациента, так и для оперирующего хирурга.

По результатам проведенных исследований сделаны следующие **выводы**:

- в рамках комплексных исследований, проводящихся в Институте электросварки им. Е.О. Патона по применению токов высокой частоты в хирургии, изучены существующие медицинские, санитарно-гигиенические и технические требования безопасности, касающиеся покрытий электрохирургических инструментов, определен перечень биосовместимых покрытий, отвечающих указанным требованиям;

- совместно с Институтом органической химии, Национальным университетом (КПИ имени Игоря Сикорского) проведены многочисленные эксперименты по испытаниям покрытий медицинских инструментов, рекомендуемых для применения в медицинской практике: цианид-акрил; эпоксикремнийорганическая эмаль (ЭКО-501); специальный лакокрасочный материал (ЛКМ); полиэтилен; порошковое покрытие в композиции с эпоксиполиэфирными смолами «TIGER-Drylac»;

- доказано, что наилучшим покрытием электрохирургического инструмента является «TIGER-Drylac» как отвечающее всем необходимым требованиям и нормативным документам, успешно выдерживающее как механические, так и испытания на предоперационную дезинфекцию и стерилизацию, безопасное для пациента и хирурга;

- экспериментами на образцах биологических тканей и животных показано отсутствие раздражающего и сенсибилизирующего влияния покрытия «TIGER-Drylac», нанесенного на электрохирургический инструмент;

- организован серийный выпуск сварочного комплекса ЕКВЗ-300 «Патонмед» с набором электрохирургических инструментов, имеющих покрытие «TIGER-Drylac», успешно внедряемого в клинику Украины.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Paton, B.E. Electric Welding of Soft Tissues in Surgery / B.E. Paton // The Paton Welding J. – 2004. – № 9. – P. 6–10.
2. High-Frequency Electric Welding: a Novel Method for Improved Immediate Chorioretinal Adhesion in Vitreoretinal Surgery / N. Umanets [et al.] // Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. – 2014. – Nov 252 (11). – P. 1697–1703.
3. Linchevskyy, O. Sealing Using the Tissue-Welding Technology in Spontaneous Pneumothorax / O. Linchevskyy, A. Makarov, V. Getman // Eur. J. Cardiothorac. Surg. – 2010. – 37(5). – P. 1126–1128.
4. Sydorets, V. Increase of Efficiency of Electrosurgical Tools for Welding of Live Biological Tissues / V. Sydorets, A. Dubko // 2nd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS-2016), Kyiv, Ukraine. – 2016. – P. 236–238.
5. Сварка, резка и термическая обработка живых тканей / Б.Е. Патон [и др.] // Автоматическая сварка. – 2013. – № 10–11. – С. 135–146.
6. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [//www.karlstorz.com](http://www.karlstorz.com).
7. Вироби медичні електричні. Частина перша. Загальні вимоги безпеки : ДСТУ 3798 (IEC 601-1-88) : Державний Стандарт України.
8. Изделия медицинские электрические : ГОСТ 30324.2. Часть вторая. Частные требования безопасности к высокочастотным электрохирургическим аппаратам.
9. Дубко, А.Г. Усовершенствование электродов электрохирургических инструментов многоразового применения / А.Г. Дубко, Н.А. Чвертко, А.В. Лебедев // Вестник Полоцкого государственного университета, Сер В, Промышленность. Прикладные науки. – 2017. – № 11. – С. 38–42.
10. Волова, Т.Г. Материалы для медицины, клеточной и тканевой инженерии : электрон. учеб. пособие / Т.Г. Волова, Е.И. Шишацкая, П.В. Миронов. – Красноярск : ИПК СФУ, 2009. – 262 с.
11. Пашенко, А.А. Кремнийорганические покрытия для защиты от биокоррозии / А.А. Пашенко, В.А. Сви́дерский. – Киев : Техніка, 1988. – 136 с.
12. Бригинец, Р.В. Физико-механические свойства эпоксикремнийорганических компаундов / Р.В. Бригинец, В.А. Сви́дерский // Вестник НТУУ «КПИ». – Серия «Химическая инженерия, экология и ресурсосбережение». – 2013. – № 1 (11). – С. 47–49.
13. Зимон, А.Д. Адгезия пленок и покрытий / А.Д. Зимон. – М. : Химия, 1977. – 352 с.
14. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://files.nas.gov.ua/NASDevelopmentsBook/PDF/0706.pdf>.
15. Стерилизация и дезинфекция изделий медицинского назначения. Методы, средства, режимы : ОСТ 42-21-2-85.
16. Санитарные правила организации технологических процессов и гигиенические требования к производственному оборудованию : СП 1042-73.
17. Патон, Б.Е. Электрическая сварка мягких тканей в хирургии / Б.Е. Патон // Автоматическая сварка. – 2004. – № 9. – С. 7–11.
18. Максимальна міцність шва при пересіченні артерії за допомогою електрозварювання / С.С. Подпрятков [та ін.] // Серце і судини. – 2006. – № 4. – С. 387–389.
19. Тканесохраняющая высокочастотная электросварочная хирургия. Атлас / под ред. Б.Е. Патона и О.Н. Ивановой. – Киев : Наукова думка, 2009. – 197 с.
20. Применение сварки в хирургии / В.К. Лебедев [и др.] // Сварочное производство. – 2008. – № 11. – С. 23–25.

21. Высокочастотная сварка и термическая обработка живых тканей в хирургии / Б.Е. Патон [и др.] // Наука і практика : міжвідомчий медичний журнал. – 2013. – № 1. – С. 25–40.
22. Стендовые исследования высокочастотной электросварки биологических тканей / Г.С. Маринский [и др.] // Автоматическая сварка. – 2016. – № 12. – С. 41–45.
23. Повышение эффективности работы электродов высокочастотных электрохирургических инструментов / А.Г. Дубко [и др.] // Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах : седьмая междунар. конф. – Одесса, 2014. – С. 34–35.
24. Моделювання фізичних процесів в біологічних тканинах та електродах електрохірургічних інструментів при проходженні через них струму / М.М. Сичик [та ін.] // Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы : девятая междунар. науч.-практ. конф. Киев, ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. – Киев, 2014. – С. 56–57.
25. Sydorets, V. Mathematical modeling of the current density distribution in a high-frequency electrosurgery / V. Sydorets, A. Lebedev, A. Dubko // 16th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE), Lviv, Ukraine, 2015. – P. 215–217.
26. Influence of Skin Effect on Current Flow Through Electrodes of Electro-Surgical Instruments and Biological Tissue / V. Sydorets [et al.] // 15th Biennial Conference on Electronics and Embedded Systems (BEC-2016), Tallinn, Estonia. – 2016. – P. 211–214.
27. Лебедев, А.В. Моделирование контактной микросварки живых тканей / А.В. Лебедев, А.Г. Дубко, С.А. Яровая // Зварювання та термічна обробка живих тканин. Теорія. Практика. Перспективи : XI Міжнар. наук.-практ. конф., Київ, ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. – Київ, 2016. – С. 43–44.
28. Bondarenko, O. Resistance Welding Control Based On Dilatometry Effect / O. Bondarenko, A. Dubko, T. Khyzhmiak // Topical problems in the field of electrical and power engineering : 16<sup>th</sup> International Symposium, Parnu, Estonia. – Parnu, 2017. – P. 21–24.
29. Дубко, А.Г. Математичне моделювання електромагнітних процесів, що відбуваються в зварювальних електродах електрохірургічних інструментів / А.Г. Дубко, В.М. Сидорець, Г.С. Маринський // Зварювання та термічна обробка живих тканин. Теорія. Практика. Перспективи : XII Наук.-практ. конф., Київ, ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. – Київ, 2017. – С. 31.

Поступила 27.06.2018

## PECULIARITIES OF USING COATINGS IN THE MANUFACTURE OF ELECTROSURGERIC INSTRUMENTS FOR BIPOLAR HIGH-FREQUENCY WELDING

A. DUBKO, N. CHVERTKO, A. LEBEDEV

*A comprehensive study on the use of high-frequency currents in surgical practice is presented. A wide range of equipment, which includes electrosurgical instruments, has been developed. The most important element of the design of such tools is a coating that ensures reliable operation with their reusable use, while meeting a number of medical, sanitary and technical requirements. According to the results of the tests for serial production of reusable electrosurgical instruments selected coating "TIGER-Drylac", which is now successfully used in the manufacture of commercially available electrosurgical instruments for widely used in clinics of Ukraine of the welding set, EKVZ-300 "Patonmed".*

**Keywords:** *high-frequency welding, electrosurgical instruments, chemical resistance of coatings, living biological tissues, biocompatibility; electrical safety.*