
Методика применения ультразвука в плазменно-электролитном процессе

*И.Х.А. Аль Умари¹, Н.Ф. Кашипов¹, Р.Н. Кашипов¹, В.Г. Саиткулов²,
В.П. Иванов³*

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

²Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева–КАИ, Казань

³ФГУП Государственный институт прикладной оптики Казань

Аннотация: В настоящей статье рассмотрен комбинированный метод плазменно-электролитной обработки и последующей ультразвуковой визуализации медицинских игл, созданных из стали марки 12Х18Н9Т. Представлена функциональная схема установки для плазменно-электролитной обработки медицинских игл. Описано устройство, предназначенное для ультразвуковой диагностики микрорельефа в полученном материале.
Ключевые слова: ультразвук, плазма, электролит, визуализация, микрорельеф, игла, лунка

Введение

В течение последних 20 лет известно множество способов упрочения поверхностного слоя материала. Однако каждый из них обладает определенными ограничениями, связанными с различными способностями материалов к упрочению. В то же время развиваются комбинированные методы обработки, совмещающие тепловые и механические процессы. Определенный интерес представляют схемы, совмещающие быстрый электролитно-плазменный нагрев и последующее ультразвуковое исследование материала с заданными свойствами [1].

К основным недостаткам известных устройств [2,3] относится сложность, состоящая в контроле горения разряда на катоде, что могло привести к возникновению дефектов обрабатываемых материалов и дальнейшей неравномерности обработки материалов. Задачей исследований явилось обеспечение возможности исследования потенциала в межэлектродном промежутке посредством контроля за анодными микроразрядами в низкотемпературной плазме.

Исследование электролитно-плазменной обработки металлов

Эксперимент, исследующий характеристики электролитно-плазменного разряда, был выполнен в интервале напряжений $U = 0 \div 250$ В, токов $I = 0 \div 50$ А, температур $t = 0 \div 110$ °С и $pH = 1 \div 12$. Это позволило рассмотреть широкий спектр параметров низкотемпературного плазменного процесса с целью выбора оптимальных данных для поверхностной обработки материалов, предназначенных для производства медицинских игл.

Установка, содержащая источник питания 1, электродную систему 2, электролитическую ванну 3, добавочное сопротивление 4, осциллограф 5, вольтметр 6 и амперметр 7, представлена в виде функциональной схемы на рис. 1. Подача регулируемого постоянного напряжения на систему электродов осуществлялась источником тока. Электродная система предназначена для контроля погружения электролитов в раствор. Измерение формы подаваемого тока и напряжения осуществлялось с помощью осциллографа. Амперметр и вольтметр снимали показания тока разряда и напряжения.

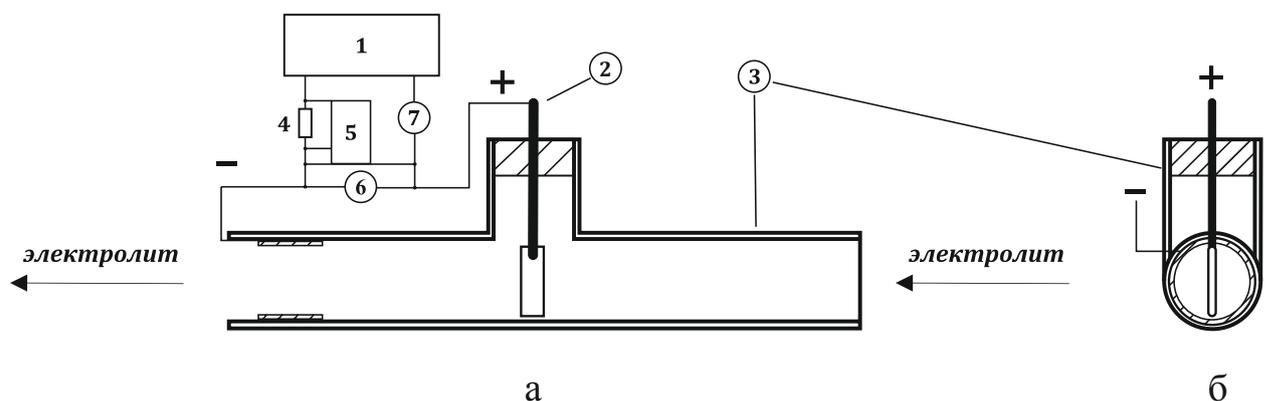


Рис. 1. – Экспериментальная установка, фиксирующая анодные микроразряды: а – вид спереди, б – вид сбоку

Изначально анод представлял собой прямоугольную пластину $5 \times 8 \times 1$ мм², медный катод был выполнен в форме кольца диаметром 8 мм и толщиной 1 мм. В ходе экспериментов было установлено, что протекание плазменно-электролитного процесса обусловлено

пятикратным и более превышением площади катода по отношению к площади анода $S_K \geq 5S_A$. Было установлено, что при меньшем соотношении начинаются процессы гашения разряда на аноде, а при равенстве площадей происходит горение разряда на катоде. Сигналы с датчиков (напряжение, сила тока, температура) оцифровывались, и далее происходила их фильтрация от помех. Совокупность данных передавалась на компьютер, где осуществлялась их окончательная обработка. Средняя скорость съема металла, где m_1 – взвешиваемый образец до начала эксперимента и m_2 – после, определялась по формуле:

$$v = \frac{\Delta m}{\rho \cdot S_A \cdot \Delta t'}$$

где $\Delta m = m_1 - m_2$, ρ – плотность стали 12X18H9T, S_A – площадь анодной поверхности, Δt – время процесса разряда. Результаты по скорости протекания плазменно-электролитного процесса согласуются с данными, полученными ранее [2].

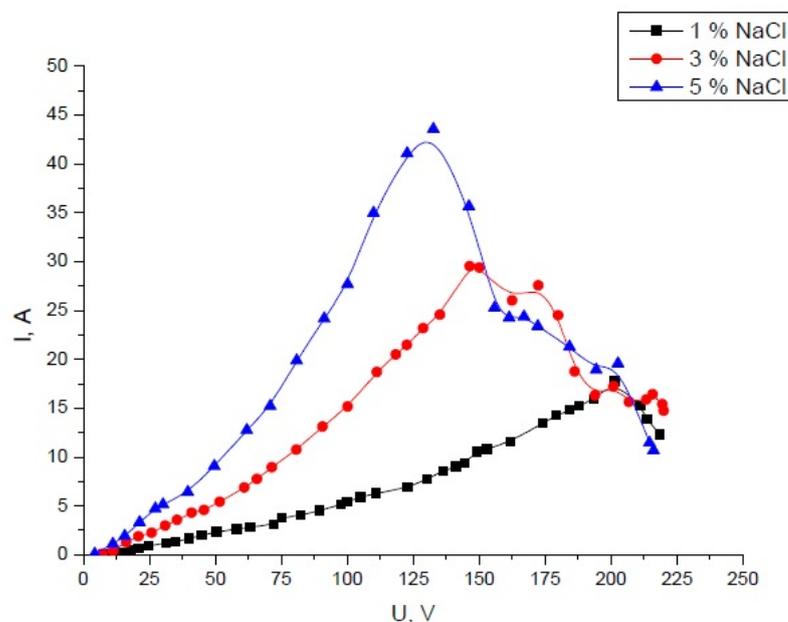


Рис. 2. ВАХ электролитно-плазменной обработки

Установление параметров площади анода, времени разряда и скорости съема металла позволило провести исследование плазменно-электролитной

обработки стали марки 12Х18Н9Т с применением анодного электролита. Вольтамперные характеристики (ВАХ) анодного разряда в зависимости от концентрации электролита представлены на рис. 2.

Область электролиза (анодное растворение) связана с ростом тока от напряжения. Горение анодных микрозарядов расположено вблизи максимума. Наконец, в области возникновения плазменного образования вокруг анода, связанной с горением разряда между электролитическим катодом и металлическим анодом, ВАХ практически не зависят от концентрации электролита. Смещение максимума в область меньших напряжений обусловлено ростом концентрации раствора. Это связано с тем, что возрастает величина удельной электропроводности, определяемой только концентрацией электролита и температурой. В ходе экспериментов было установлено, что при концентрации NaCl, равной 1%, оптимальная температура составляет 75 °С, а при концентрации 3-5% не превышает 88%.

В ходе плазменно-электролитного процесса обработки материала, имитирующего медицинские иглы, было выявлено, что распределение температуры T вдоль оси z , перпендикулярной поверхности электрода, определяется известным уравнением теплопроводности с учетом стационарности теплового источника и характеристик анодного раствора, не зависящих от температуры:

$$\frac{\partial T(z, t)}{\partial t} = \frac{\lambda_T}{c_T \rho_{эл}} \frac{\partial^2 T(z, t)}{\partial t^2} + \frac{q_A(z, t)}{c_T \rho_{эл}}$$

где c_T – удельная теплоемкость, $\rho_{эл}$ – плотность вещества электролита, λ_T – коэффициент теплопроводности электролита, q_A – удельная мощность.

В результате глубина лунки на конце иглы определяется процессом плавления поверхностного слоя анода, что требует равномерного в течение единицы времени ввода теплоты. Это позволяет получить требуемую

глубину лунки при условии, что источник теплоты и граница расплава перемещаются синхронно. Глубина лунки определяется формулой:

$$h_{л} = \frac{q_A \tau_{\text{разр}}}{\rho_{\text{эл}} [c_T (T_{\text{пл}} - T_0) + Q_{\text{исп}} + 0,5v_p^2]}$$

где $\tau_{\text{разр}}$ – время протекания реакции, $Q_{\text{исп}}$ – теплота фазового превращения, $T_{\text{пл}}$ – температура плавления, T_0 – исходная температура, v_p – скорость разлета частиц расплава. При неизменном тепловом потоке в расчете на единицу поверхности ($q_A \tau_{\text{разр}} = \text{const}$) глубина лунки оказывается наибольшей (рис. 3).

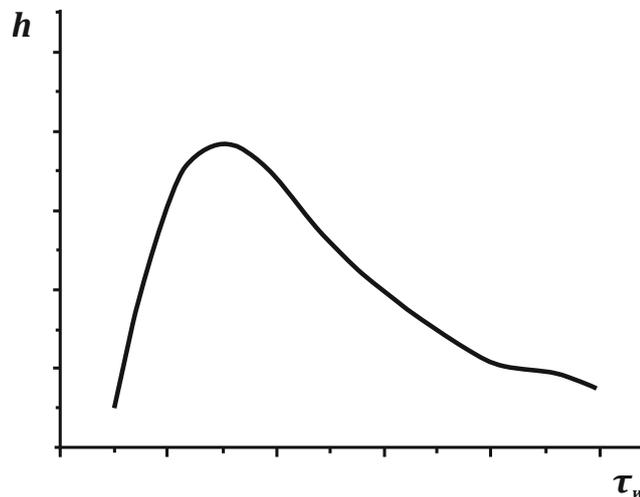


Рис.3. – Зависимость глубины лунки от времени горения разряда

Устройство электролитно-плазменной обработки медицинских игл

Четкая визуализация края медицинской иглы обусловлена частотой ультразвукового датчика и глубиной образуемой лунки. В ходе испытаний глубина изменялась от 10 до 1000 мкм, а частота – от 1 до 10 МГц. Так как ультразвуковая волна падает на рабочий конец иглы под углами от 0 до 180°, то оптимум ее рассеяния достигается в случае нормального падения относительно оси иглы. Следовательно, в случае производства лунок под разными углами врач избавлен от необходимости держать сканирующий инструмент под каким-то определенным углом, и, таким образом, эффективность медицинского исследования повышается.

При сопоставлении глубины лунки $h_{л}$ и длины падающей волны λ необходимо выбрать оптимум, гарантирующий рассеяние ультразвукового излучения в разные стороны. В случае $h_{л} > \lambda$ преобладает геометрическая оптика, т.е. качественный прием отраженной волны осуществляется под прямым или близкими к нему углами относительно оси иглы. Когда $h_{л} \sim \lambda$, отражение происходит под разными углами, и контрастность иглы возрастает. Таким образом, требуется нанесение шероховатостей (лунок) размером $10 \div 1000$ мкм под разными углами относительно оси трубки с наконечником. На рис. 4 и на рис. 5 представлены осциллограммы, соответствующие случаям $h_{л} > \lambda$ и $h_{л} \sim \lambda$. Сигнал был реализован в виде произведения единичной функции, экспоненты и синусоиды:

$$f(t) = \delta(t) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot \sin \omega t$$

причем коэффициент затухания экспоненциальной составляющей τ выбирался таким образом, чтобы уровень шума от зондирующего сигнала во время прихода отраженных импульсов от лунок на крае иглы был минимальным.

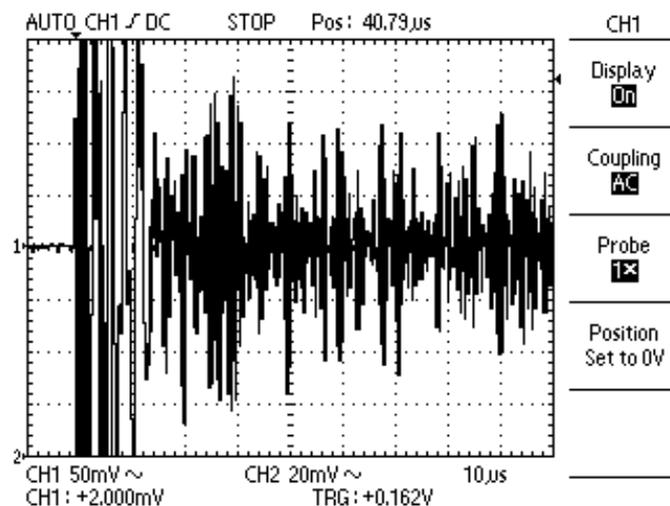


Рис. 4. – Осциллограмма зондирующего сигнала на конце иглы в случае $h_{л} > \lambda$

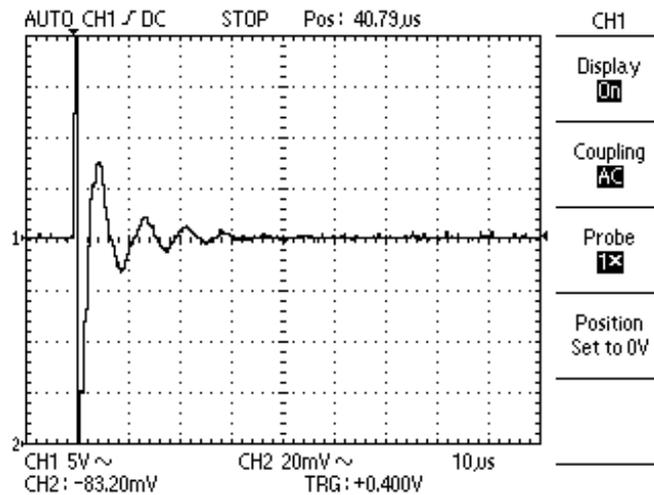


Рис. 5. – Осциллограмма зондирующего сигнала на конце иглы в случае $h_{ДЛ} \sim \lambda$

На основе проведенных экспериментов было создано устройство «КЛЁН-1», принципиальная схема которого представлена на рис.6. Прибор выполнен по ГОСТ 15150 (Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды) и ГОСТ 17516 (Изделия электротехнические. Условия эксплуатации в части воздействия механических факторов внешней среды.). В устройство входят четыре основных блока: источник питания 1, блок управления и контроля 2, системы фильтрации и прокачки жидкости с электролитом 3, устройства обработки 4. Последние включают компьютер и осциллограф для качественной обработки микроплазменной обработки медицинских игл и их проверки ультразвуком. Устройство позволяет выполнять обработку до 100 игл одновременно.

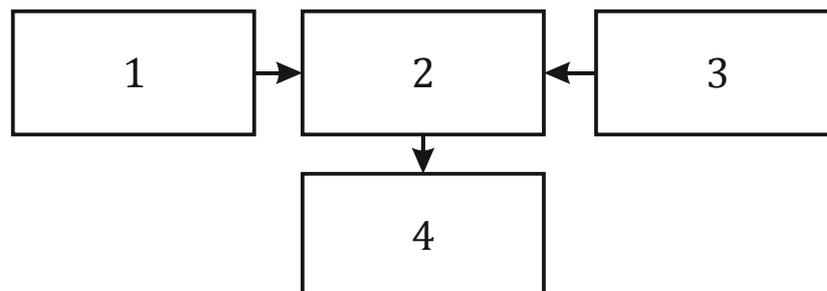


Рис. 6. – Принципиальная схема устройства «КЛЁН-1»

Заключение

Получены данные, подтверждающие соотношение размерности поверхностей электродов с целью создания установки, фиксирующей анодные микрозаряды. Это позволило получить вольтамперные характеристики плазменно-электролитной обработки материалов для нанесения лунок на край медицинских игл. На основе физики ультразвуковых волн подобрано соответствие между глубиной обработанного конца иглы и длиной волны. Создан прибор «КЛЁН-1», выполняющий обработку материала и его контроль посредством ультразвукового излучения.

Литература

1. Рахимьянов Х.М., Еремина А.С. Установка для химико-термической обработки в электролитной плазме // Сборник научных трудов НГТУ. – 2006. – № 3. – С. 141–144.
 2. Словецкий Д.И., Терентьев С.Д., Плеханов В.Г. Механизм плазменно-электролитного нагрева металлов // Теплофизика высоких температур – 1986. - Том 24, № 2. – С. 353- 363.
 3. Кашапов Р.Н. Плазменно-электролитная обработка медицинских игл. // Материалы конференции «Индустрия наносистем и материалы», МИЭТ, Москва – 2005 – С. 82–86.
 4. Кутепов А.М., Захаров А.Г., Максимов А.И. и др. Физико-химические и технологические проблемы исследования плазменно-растворных систем. // Химия высоких энергий – 2003. - Т.37, №5. – С. 362 – 366.
 5. Хлюстова, А.В., Максимов А.И., Титов В.А. Излучение тлеющего разряда с электролитным катодом и процессы переноса нейтральных и заряженных частиц из раствора в плазму // Химия высоких энергий – 2004. - Т.38, №3. - С. 227 – 230.
-

6. Harada K., Iwasaki T. Syntheses of amino acids from aliphatic carboxylic acid by glow – discharge electrolysis. // Nature – 1974. - vol. 250. – pp. 426-428.

7. Davies R. A., Hickling A. Glow – discharge electrolysis. Part I. The Anodic formation of hydrogen peroxide in inert electrolysis. // Journal chemical society – 1952. - pp. 3595 – 3602.

8. Гайсин А.Ф., Сон Э.Е. Об особенностях многоканального разряда с твердым и электролитическим электродами при атмосферном давлении. // Теплофизика высоких температур - 2007. - Т. 45. № 2. - С. 316-317.

9. Щербаков И.Н., Дерлугян Ф.П. Обоснование процесса получения композиционных антифрикционных самосмазывающихся материалов с заданными техническими характеристиками методом химического наноконструирования // Инженерный вестник Дона, 2010, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2010/287

10.Коваленко Д.А., Петров В.В. Разработка сенсоров на основе сегнетоэлектрических пленок для гибридных сенсорных систем //Инженерный вестник Дона, 2012, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1357

References

1. Rakhimyanov H.M., Eryomina A.S. Ustanovka dlya khimiko-termicheskoy obrabotki v elektrolitnoy plazme. Sbornik nauchnyh trudov NGTU [Electrolyte plasma thermochemical treatment production plant. NSTU collection of studies].2006. № 3.pp. 141–144.

2. Slovetsky D.I., Terentyev S.D., Plekhanov V.G. Teplofizika vysokikh temperatur.1986. Vol. 24. № 2.pp. 353- 363.

3. Kashapov R.N. Plazmenno-elektrolitnaya obrabotka meditsinskikh igl. Materialy konferentsii «Industriya nanosistem i materialy» [Medical needle plasma-electrolyte fabrication. “Nanosystems industry and materials” conference proc.], MIET, Moscow. 2005. pp. 82–86.



4. Kutepov A.M., Zakharov A.G., Maximov A.I. High Energy Chemistry, 2003. Vol. 37, No. 5. pp. 362 - 366.
5. Khlyustova A.V., Maksimov A.I., Titov V.A. High Energy Chemistry, 2004. V. 38, №3. pp. 227-230.
6. Harada K., Iwasaki T. Nature, 1974. Vol. 250. pp. 426-428.
7. Davies R. A. Hickling A. Journal chemical society, 1952. pp. 3595 - 3602
8. Gaisin A.F., Son E.E. Thermophysics of High Temperatures, 2007. Vol. 45. No. 2. pp. 316-317.
9. Shcherbakov I.N., Derlugyan F.P. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2010, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2010/287
10. Kovalenko D.A., Petrov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1357