

Р.Г. ГЕВОРКЯН

**РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕОДНОРОДНОСТИ РАЗРЯДА В ОЗОНАТОРАХ С
БАРЬЕРНЫМ РАЗРЯДОМ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КАТОДА**

При работе озонаторов врачи, применяющие озон, сталкиваются с многочисленными техническими проблемами, которые в основном связаны с неоднородностью разряда. Приведено решение проблемы неоднородности разряда в озонаторах путем нанесения регулярных микрорельефов на поверхность катода, что обеспечивает прирост выхода озона на 30...35%, равномерный износ электрода и удлинение его срока службы.

Ключевые слова: озон, озонатор, электрод, поверхность катода, регулярные микрорельефы.

Введение. Из большого разнообразия современных конструкций генераторов озона (озонаторов), где озон образуется при помощи электрического разряда в воздухе или в кислороде, наибольшее распространение получили озонаторы с так называемым барьерным разрядом (разряд в узком газовом зазоре между плоскими или коаксиальными электродами, один из которых покрыт слоем твердого диэлектрика) [1]. В частности, такие озонаторы лежат в основе озонотерапии – широко развивающегося в последнее время направления медицины.

При работе озонаторов врачи, применяющие озон, сталкиваются с многочисленными техническими проблемами, но практика работы показывает, что большинство используемых в медицинской практике озонаторов имеют три основных недостатка:

- низкая точность поддержания заданной концентрации озона;
- низкий ресурс работы: уже через сто часов работы они допускают значительную ошибку в выдаваемой концентрации, что недопустимо, особенно при парентеральном применении озона;
- разряд на воздухе всегда образует некоторое количество ядовитых оксидов азота.

Решение этих проблем позволит более полно использовать уникальные свойства озона при лечении разнообразных болезней, а использование воздуха в качестве рабочего газа вместо кислорода даст возможность применять озонотерапию даже в полевых госпиталях.

Большинство исследователей в области барьерного разряда пришли к выводу, что основная причина вышеупомянутых проблем заключается в нарушении однородности барьерного разряда [2]. Установлено, что если разряд в озонаторе устойчиво однородный и параметры барьера (материал, его качество, геометрия и размеры барьера) подобраны правильно, то озонатор будет работать достаточно долго и концентрация озона будет постоянной или за время работы снизится незначительно.

В озонаторах трубчатого типа большое влияние на однородность разряда оказывают цилиндричность и соосность коаксиальных элементов, образующих разрядную камеру озонатора. Для устранения этих недостатков электроды приводят с высокой точностью в симметричное состояние (равноудаленность электрода и диэлектрика). Но даже такие трудоемкие процессы не всегда обеспечивают долгосрочные результаты и не гарантируют устойчивую работу озонаторов [3]. Использование новых материалов позволяет в определенной степени повысить надежность и ресурс озонаторных камер, но тем самым вопрос не решается кардинально.

Для решения проблемы неоднородности барьерного разряда в данной работе предлагается изменить поверхность электрода, на которой отсутствует диэлектрический барьер (предпочтительнее использовать катод), посредством нанесения регулярных микрорельефов – создания равных углублений на поверхности, в результате чего будут образовываться острия, находящиеся на равных расстояниях друг от друга.

Материалы и методы исследования. Для обоснования целесообразности использования электродов с измененной поверхностью эксперименты проводились на двух озонаторах, равных по своим геометрическим и электрическим характеристикам, отличие которых состояло лишь в том, что первый (контрольный) из них был оснащен обыкновенным гладким электродом, а второй – электродом, на поверхность которого были нанесены регулярные микрорельефы. В качестве диэлектрика служило кварцевое стекло, в качестве анода – алюминиевая фольга, а в качестве катода – трубка из нержавеющей стали.

Поскольку работа проводилась на озонаторах трубчатого типа, то микрорельефы наносились на внутреннюю поверхность трубки из нержавеющей стали посредством резки с шагом 0,1...0,2 мм.

Концентрация озона на выходе измерялась анализатором озона ЦИКЛОН 5-23. Электрические характеристики выводились на двулучевой запоминающий осциллограф С8-14. В качестве рабочего газа использовался воздух, подаваемый из компрессора.

Для визуальной оценки разряда использовался элемент, состоящий из плоских алюминиевых электродов, где на катод был нанесены регулярные микрорельефы со следующими характеристиками: глубина – 0,1...0,2 мм, расстояние между остриями – 0,1...0,2 мм. В качестве контрольного использовался электрод с неровной поверхностью (для неоднородности разряда).

Результаты и обсуждение. Экспериментально было показано, что в электродах с регулярными микрорельефами выход озона в среднем на 30...35% больше, а вольт-амперные характеристики двух испытуемых озонаторов (см. рис.) указывают в первую очередь на значительное снижение (на 40%) порогового значения напряжения на озонаторах, при котором начинается разряд.

В электродах с регулярными микрорельефами разряд значительно приближается к однородному, а микроразряды одной серии равномерно распределяются в разрядном промежутке. Это визуально наблюдается в плоских электродах.

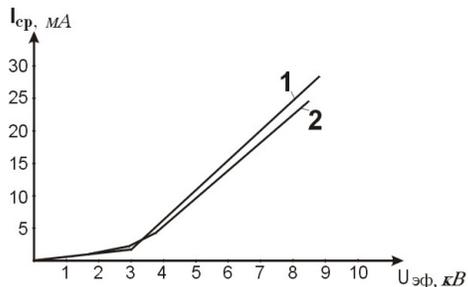


Рис. Вольт-амперная характеристика озонатора:
 1 - электроды с гладкой поверхностью,
 2 - электроды с регулярными микрорельефами

Регулярные микрорельефы вынуждают разряд появиться только на остриях микрорельефа, но поскольку их количество очень велико, то это приводит к равномерному распределению энергии по всей площади электрода. Также регулярные микрорельефы не позволяют катодному пятну увеличиваться в размерах.

Анализируя полученные результаты, приходим к выводу, что регулярные микрорельефы влияют на синтез озона в основном тремя способами.

1. Исходим из того, что даже на самых гладких поверхностях электрода со временем появляются микрорельефы. Это связано с продолжительным воздействием стримеров на поверхности, приводит к значительным термическим и механическим напряжениям, способным вызвать механические разрушения на поверхностях как электрода, так и барьера [1]. Таким разрушениям подвержены барьеры из стекла, стеклоэмали, керамики, т.е. из хрупких материалов [4]. После таких локальных изменений (каверн) на поверхностях электрода и диэлектрика велика вероятность появления следующих разрядов в этом же месте, так как увеличивается градиент напряжения поля, связанного либо с большими отклонениями от соосности или параллельности элементов разрядных камер, либо с поверхностными искажениями поля как барьера, так и металлических электродов.

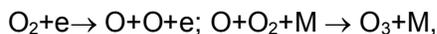
Изменение формы разряда (неоднородность разряда) характеризуется более высокими значениями тока, температуры, повышенными поперечными размерами канала, а также низкими значениями падения напряжения на разрядном промежутке.

Все эти факторы напрямую влияют на синтез озона. Известно, что в самом стримере озон не образуется, но за счет перегрева плазмы он образуется в околостримерном пространстве (диффузный разряд), т.е. чем больше зона диффузного разряда и выше повторяемость разряда в этой зоне, тем выше выход озона и неизменность его количества при других равных параметрах озонатора [5]. Поскольку в неоднородном разряде приложенная энергия распределяется между меньшим количеством стримеров, то и околостримерное пространство невелико, то есть озон синтезируется в меньшей степени. Вместе с тем перегрев плазмы ускоряет разложение озона и образование окислов азота, что недопустимо в медицине.

Регулярные микрорельефы обуславливают постепенный и равномерный износ электродов, что гарантирует постоянную концентрацию озона и длительную их службу. Вместе с тем в электродах с регулярными

микрорельефами количество стримеров на порядок больше. Поэтому тот же ток проходит с большим количеством стримеров, и, как следствие, меньше локальная температура в околостримерном пространстве, разложение озона и синтез окислов азота.

2. Известно, что синтез озона протекает по двум основным реакциям. В первой идет процесс диссоциации молекул кислорода при взаимодействии со свободным электроном, во второй – образование молекулы озона:



где M – третья частица: молекула, ион, электрон или атом в нейтральном или возбужденном состоянии [5].

Также известно, что затраты энергии на разрушение молекулы кислорода зависят от способа воздействия на связь. При термическом воздействии на связь она разрушается при энергии 5,13 эВ, а при механическом воздействии на связь достаточно затратить 2,56 эВ энергии. Поскольку диссоциация молекулы кислорода в озонаторе – механический, а не термический процесс, то в качестве энергии нужно принять 2,56 эВ. При этом энергия возбуждения одного из кислородных атомов до метастабильного состояния равна 1,96 эВ. Известно, что энергии ионизации для молекулы кислорода и азота равны, соответственно, 12,5 эВ и 14,5 эВ [3].

Так как автоэмиссия электронов при регулярных микрорельефах по всей площади происходит равномерно и с меньшим напряжением, энергия электронов мала, в начальный период в общей группе электронов преобладают так называемые "холодные электроны", что приводит к интегральному уменьшению сопротивления разрядного промежутка.

При холодных электронах наиболее вероятно диссоциация молекулы кислорода на два атомарных кислорода и возбуждения до метастабильного состояния, чем его ионизация, поскольку для ионизации необходимо больше энергии. Это означает, что большее количество холодных электронов обеспечивают наличие в разрядном промежутке большего количества атомарного кислорода для синтеза озона, что напрямую влияет на концентрацию озона на выходе.

Преимущества измененных электродов наиболее ярко проявляются при высоких давлениях (0,5 атм. и выше), поскольку длина свободного пробега электронов и ионов, дебаевский радиус, амбиполярная диффузия и т. д., то есть все процессы в плазме и их характерные размеры, сопоставимы с размерами измененных электродов.

3. Поскольку регулярные микрорельефы обеспечивают автоэмиссию большого количества холодных электронов, то это обеспечит еще одну важную проблему синтеза озона – сушку рабочего газа. Установлено, что электронная осушка воздуха не уступает по эффективности другим методам осушки рабочего газа. Это связано с тем, что молекулы воды, содержащиеся в потоке воздуха, имеют большое сродство с электронами и поэтому при контакте образуют устойчивые отрицательные ионы, что способствует тому, что молекулы воды не могут охватывать свободные электроны во время разряда [6].

Образование достаточного количества электронов, необходимых для уменьшения активности молекул воды, уменьшает образование HNO_3 , окисляющего электроды, что увеличивает срок их службы [5].

Выводы. Обработка электрода озонатора с нанесением регулярных микро рельефов обеспечивает:

- прирост выхода озона на 30...35%;
- равномерный износ электрода и удлинение его срока службы;
- постоянное распределение стримеров по остриям микро рельефов, следовательно, и обеспечение постоянной концентрации озона;
- увеличение диффузионного разряда и уменьшение температуры плазмы с последующим уменьшением вероятности появления окислов азота;
- автоэмиссию большого количества холодных электронов и, как следствие, осушку рабочего газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Филиппов Ю.В., Вобликова В.А., Пантелеев В.И.** Электросинтез озона. - М.: Изд-во МГУ, 1987. – 236 с.
2. **Филиппов Ю. В., Вобликова В. А.** Исследование различных факторов, влияющих на эффективность мощных высокочастотных озонаторов: Научно-технический отчет. - М.: Изд-во МГУ, 1991.
3. **Лушин В.В., Попович М.П., Ткаченко С.Н.** Физическая химия озона. – М.: Изд. МГУ, 1998.
4. **Eliasson B., Egli W., Kogelschatz U.** Modeling of dielectric barrier discharge chemistry. Pure & Appl. Chem. - 1994. - V.66, No. 6. - P. 1275-1286.
5. **Самойлович В.Т., Гибалов В.И., Козлов К.В.** Физическая химия барьерного разряда. - М.: Изд-во МГУ, 1989. – 175 с.
6. **Энгельшт В.С.** Озонатор. Патент России № 17544647, 15.04.92. Бюл.№30, 15.08.92. Перерегистрация 20.05.93.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 17.01.2006.

Ռ.Հ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

ԱՐԳԵԼՔԱՅԻՆ ՊԱՐՊՄԱՍԻ ՕԶՈՆԱՏՈՐՆԵՐԻ ՊԱՐՊՄԱՆ ԱՆՀԱՄԱՍԵՈՈՒԹՅԱՆ ԽՆԴԻ ԼՈՒԾՈՒՄԸ ԿԱԹՈՂԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՓՈՓՈԽՄԱՆ ՃԱՆԱՊԱՐՀՈՎ

Բժշկական նպատակներով օգտագործվող օզոնատորներն ունեն մի շարք թերություններ, որոնց մեծամասնությունը պայմանավորված է պարպման անհամասեռությամբ: Մույն աշխատանքում առաջարկվում է օզոնատորների անհամասեռ պարպման խնդրի լուծումը կաթոդի մակերևույթին ռեգուլյար միկրոռելիեֆներ ստեղծելու միջոցով, ինչն ապահովում է ելքում օզոնի խտության 30-35% աճ, էլեկտրոդների հավասարաչափ մաշում և աշխատանքային ռեսուրսի ծառայության տևողության երկարացում:

Առանցքային բաներ. օզոն, օզոնատոր, էլեկտրոդ, կաթոդի մակերևույթ, ռեգուլյար միկրոռելիեֆներ:

R.H. GEVORGYAN

DISCHARGE HETEROGENEITY PROBLEM SOLVING IN OZONIZERS WITH BARRIER DISCHARGE BY USING CATHODE SURFACE

Working with ozonizers the physicians using ozone face numerous technical problems mainly connected with discharge heterogeneity. Discharge heterogeneity problem solving in ozonizers by putting regular microreliefs on cathode surface providing ozone output for 30...35%, uniform electrode wear and prolonging its durability is given.

Keywords: ozone, ozonizer, electrode, cathode surface, regular microreliefs.