

ВЛИЯНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ
НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ОЗОНАТОРОВ

Н.А.МАМЕДОВ*, Г.И.ГАРИБОВ,
Г.М.САДЫХ-ЗАДЕ**, Ш.Ш.АЛЕКБЕРОВ
Бакинский Государственный Университет

*e-mail nemat@rambler.ru, ** - e-mail sadiqzade@rambler.ru

В работе обосновывается целесообразность перехода от гладких поверхностей внутренних электродов озонаторов к конструкциям с внутренними электродами, представляющими собой периодическую переменную структуру, образованную искусственно созданным рельефом поверхности. Предложенные конструкции способствуют усилению электрического поля за счет неоднородностей на выступах рельефов с коэффициентами усиления 4,25 и 7 для различных вариантов внутренних электродов, что обеспечивает рост энергии электронов до 20 эВ.

В настоящее время для электросинтеза озона пользуются различными видами электрических разрядов. В каждом конкретном случае применяют такую разновидность разряда, где требуются именно определенные элементарные процессы, отвечающие за условия прохождения тока через газы. Главным требованием для всех озонаторов является уменьшение потерь в активной зоне, т. е. энергетическая эффективность производительности. Для электрических материалов, применяемых в реакторах синтеза, целесообразно использовать активацию низкотемпературными неравновесными электрическими разрядами: коронным, тлеющим, барьерным, факельным, общим сходством которых является малый расход вкладываемой энергии на нагрев материала [1].

Неравновесные разряды характеризуются сильным отрывом электронной температуры от температуры ионов и нейтральных атомов, т. е. $T_e \gg T_i > T_n$. В этих видах разряда энергия, получаемая “горячими” электронами от электрического поля, расходуется на процессы ионизации, возбуждения и диссоциации молекул газа, а при наличии в разрядном промежутке мелкодисперсного диэлектрического заполнителя, также и атомов поверхностного слоя. Все эти процессы приводят к созданию в объеме благоприятных условий для увеличения скорости образования озона в озонаторах. Чем выше неравновесность, тем меньше энергии расходуется на нагрев газа. Например, дуговой разряд для синтеза озона непригоден из-за малой степени неравновесности, поскольку основная часть энергии, вкладываемой в разряд, уходит на нагрев газа или ограничивающих реактор поверхностей. Из литературных данных следует, что по степени не-

равновесности разряды можно расположить в следующий ряд[2]: чехол коронного разряда, барьерный, факельный, тлеющий, искровой, дуговой. Электрические разряды при сверхвысоких частотах, в зависимости от скорости ввода энергии и “каналов” ее диссипации, могут иметь различную степень неравновесности.

Все неравновесные формы разряда развиваются в дискретных промежутках в полях высокой напряженности: неравновесность и сильные поля – эти два условия неразрывно связаны друг с другом. Физически, уменьшение степени неравновесности, т. е. уменьшение разности $T_e - T_i$, может происходить только при снижении напряженности поля в активной зоне разряда.

В последние годы при создании озонаторов, в основном, пользуются барьерными разрядами. В зависимости от значений произведения давления p и протяженности газового промежутка d (pd) барьерный разряд может существовать в двух формах [3]. При атмосферном давлении газа значение (pd) практически для всех реальных промежутков всегда больше некоторого критического значения $(pd)_{кр}$, т. е. отдельные участки поверхности реактора “заряжаются” через многолавиновые образования независимо друг от друга. Размер микровспышек и расстояния между ними того же порядка, что и толщина газового промежутка d . В микроразрядах локализуются заряженные частицы, обладающие высокими энергиями, в результате чего отдельно взятый микроразряд обладает деструктивным действием, разрушая молекулы до свободных атомов и радикалов. Образовавшиеся здесь первичные активные частицы (в основном электроны) быстро попадают в низкотемпературную среду, где ускоряют процессы озонирования.

Диэлектрики, нанесенные равномерным слоем на поверхности электродов в барьерном разряде, кроме интенсификации разряда, исполняют роль стабилизирующего сопротивления. При больших напряжениях между электродами, покрытыми диэлектриком, заряды не отводятся (как при металлических электродах), а определенная эквипотенциальность достигается их «растеканием» по поверхности и тем, что микроразряды возникают хаотически, в случайных местах [4], на естественных микронеоднородностях, шероховатостях, имеющих даже на гладких поверхностях внутренних электродов озонаторов. Для избежания локализаций разрядов было предложено применить различные периодические переменные структуры для внутренних электродов [5].

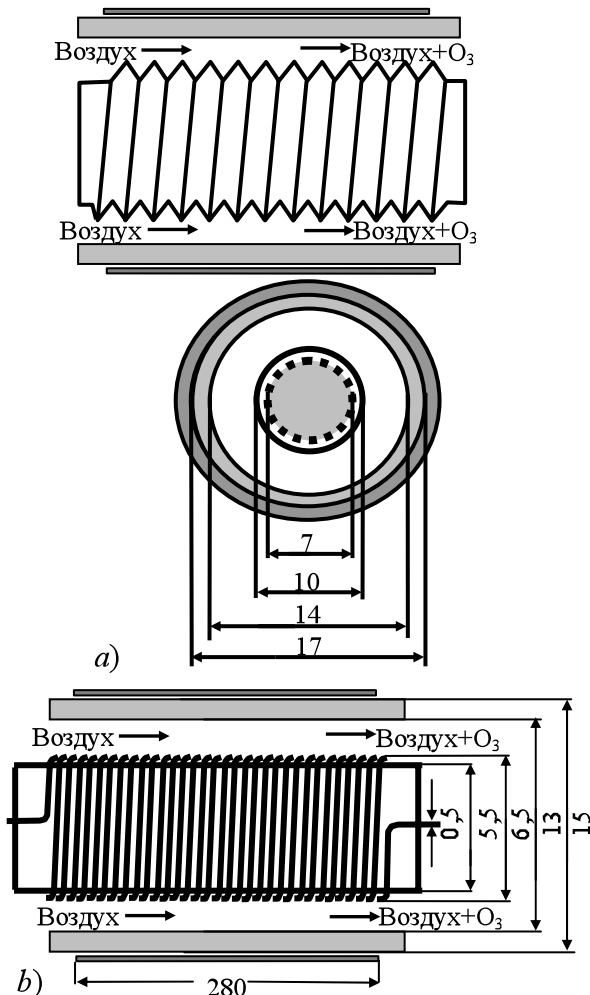
В настоящей работе обосновывается целесообразность перехода от гладких поверхностей внутренних электродов озонаторов к конструкциям с внутренними электродами, представляющими собой периодическую переменную структуру, образованную искусственно созданным рельефом поверхности.

На рисунке приводятся два варианта осуществления такой периодической неоднородности: а) на внутренний электрод нанесена резьба так,

что каждый ее элемент представляет собой треугольник высотой 0,15 см и б) на внутренний диэлектрический электрод по спирали плотно навита металлическая проволока с радиусом 0,025 см.

Необходимость создания периодических рельефных неоднородностей обуславливалась тем, что с одной стороны, появлялась возможность создания на них регулируемой локализации микрозарядов, которые являются источником высокоэнергетических электронов, участвующих в образовании озона. С другой стороны, увеличение площади поверхности внутреннего электрода приводит к уменьшению плотности тока, что способствует уменьшению нагрева и разрушения электрода, а следовательно увеличивает срок службы озонаторов. Одновременно, такая структура обеспечивает многократное взаимодействие атомов и молекул нагоняемого газа с периодическими интенсивными зонами разрядного промежутка, а турбулентность течения воздуха способствует более эффективному охлаждению активной зоны.

Оценим степень неоднородности электрического поля обоих видов вышеприведенных конструкций центральных электродов. Обычно, как известно из литературы [6], степень неоднородности поля f определяется по формуле $f = E_{\max} / E_{\text{cp}}$. Здесь за E_{cp} принимается средняя напряженность поля



Периодическая неоднородность рельефа активных элементов озонаторов (размеры даны в мм).

- a) Внутренний электрод с резьбовой нарезкой.
- b) Внутренний электрод из металлической спирали, плотно навитой на диэлектрический стержень.

между электродами $E_{cp} = U/(R-r)$, где U – приложенное напряжение, $R-r$ – расстояние между внешним и внутренним цилиндрическими коаксиальными электродами с радиусами R и r , соответственно, E_{max} – поле, определяемое по формуле $E_{max} = U/(r \ln(R/r))$, на поверхности внутреннего электрода. Такой подход к определению f не учитывает неоднородности поля, создаваемого шероховатостью поверхности внутреннего электрода. В случае, который имеет место в рассматриваемой нами конструкции, для расчета неоднородности поля необходимо воспользоваться понятием увеличения поля вблизи острого выступа, которое характеризуется аспектным отношением [7]. При расстоянии между электродами L усиление напряженности поля $f_{y.n.}$ на выступе с малым радиусом кривизны a определяется выражением:

$$f = A \frac{L}{a}, \quad (1)$$

где A – численный коэффициент, близкий к 0,2.

Таким образом, электрическое поле вблизи выступа, которое характеризуется аспектным отношением L/a , (где L – в нашем случае расстояние между цилиндрическими коаксиальными электродами, равное $R-r$) примерно в $0,2 \cdot (L/a)$ раз превышает среднее по объему значение. Нужно отметить, что коэффициент усиления весьма чувствителен к геометрической форме выступа. Такими выступами в нашем случае являются измеренный радиус кривизны вершины резьбовой нарезки внутреннего электрода ($a = 0,01$ см) и неоднородности, созданные тонкой металлической проволокой, плотно навитой на цилиндрическую стеклянную трубку малого радиуса. Эта проволока создает на поверхности диэлектрика выступы с радиусом кривизны $a = 0,025$ см. Следовательно, для оценки степени, созданной нами неоднородности электрического поля, необходимо воспользоваться формулой (1). Оценки неоднородности для случая (a) дают величину порядка 7, а для случая (b) – 4,25. Принято, что [6, стр. 8-9] резко неоднородными считаются поля, для которых коэффициент неоднородности $f \geq 4$, а в слабо неоднородных полях $f \leq 1,6-2$. Таким образом, можно сказать, что в рассмотренных нами обоих типах конструкций поля можно считать сильно неоднородными. Для неоднородных же полей среднюю энергию электронов, участвующих в элементарных актах взаимодействия в объеме разрядного промежутка, можно приближенно вычислить по формуле [8]:

$$W_{э,ср} = 8,63 \cdot 10^{-4} \cdot T \left[21 + 33 \lg \left(\frac{0,5}{d} + 44 \right) \right], \quad (2)$$

где d – длина разрядного промежутка, в сантиметрах, T – абсолютная температура газа, $W_{э,ср}$ – энергия электронов в электронвольтах. Следует отметить, что в озонаторах рабочим диапазоном по температуре разрядного

промежутка считается интервал от 15 до 32 °С. При больших температурах начинается окисление азота и образование озона прекращается [9].

Расчеты, проведенные по формуле (2) показывают, что для обеих рассматриваемых конструкций средняя энергия электронов колеблется от 18,83 эВ при T=288 К до 19,95 эВ при температуре T=308 К. Этой энергии электронов вполне достаточно для активации процессов озонобразования.

В самом деле, измерения производительности озонаторов показали, что при прочих равных условиях, выход озона в случае с искусственно созданным периодическим рельефом поверхности существенно выше, чем в гладких структурах.

Таким образом, можно заключить, что переход в конструкциях озонаторов к периодическим переменным структурам увеличивает эффективность озонобразования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джуварлы Ч.М., Вечхайзер Г.Б., Леонов П.В. Электронная обработка материалов, 1990, №5, с. 38-40.
2. Горин Ю.В., Кулахметов Ф.Х. О взаимодействии низкотемпературных энергетических разрядов со стеклами. Электронная обработка материалов, 1992, №2, с. 27-29.
3. Сергеев Ю.Г., Горин Ю.В. О некоторых особенностях электрического разряда в промежутках органических диэлектриков. Доклады АН Азерб. ССР, 1970, т. 26, №2, с. 13-15.
4. В.В. Лунин, М.П. Попович, С.Н. Ткаченко. Физическая химия озона. Изд. МГУ, 1998, с. 82.
5. Мехтиев А.Ш., Низамов Т.И., Мамедов Н.А., Давудов И.Б., Давудов Б.Б. ПАТЕНТ и 2000.0060. Многоэлементный трубчатый озонатор.
6. Резвых К.А. Расчет электрических полей в аппаратуре высокого напряжения. М., Энергия, 1967, с. 8-9.
7. А.Е. Елецкий. Успехи физических наук, том 172, №4, с. 423, 2002 г. «Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства».
8. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. Л. Ленинградское отделение, 1979, с. 86.
9. Филиппов Ю.В., Вобликова В.В., Пантелеев В.Н. Электросинтез озона. М., 1987, с. 237.

PERİODİK QEYRİ-BİRCİNSLİKLƏRİN OZONATORLARIN MƏHSULDARLIĞINA TƏSİRİ

N.Ə.MƏMMƏDOV, Q.İ.QƏRİBOV, G.M.SADIQZADƏ, Ş.Ş.ƏLƏKBƏROV

XÜLASƏ

İşdə ozonatorlarda hamar səthli daxili elektrodlardan səthinin relyefi periodik dəyişən elektrodlara keçməyin məqsədəuyğunluğu əsaslandırılır. Təklif olunan konstruksiyalar səthin relyefinin çıxıntılarında elektrik sahəsinin güclənməsinə səbəb olur və daxili elektrodların müxtəlif konst-

ruksiyaları üçün sahənin güclənmə əmsalı 4,25 və 7 təşkil edir ki, bu da elektronların enerjisinin 20 eV-a qədər yüksəlməsini təmin edir.

**INFLUENCE OF PERIODICAL HETEROGENETICALTY
FOR PRODUCTIVITY OZONOTORES**

N.A.MAMEDOV, G.I.GARIBOV, G.M.SADYKH-ZADE, Sh.Sh.ALEKBEROV

SUMMARY

In this paper justifying of the expediency of from smooth surfaces of internal electrodes of ozonizers to constructions with the internal electrodes representing periodic variable structure, formed with artificial the created relief of a surface. The offered constructions promote amplification of a field due of heterogeneity on the ledges of relief's with coefficient of amplification of a field 4,25 and 7 for various variants of internal electrodes, that provides growth of energy of electrons up to 20 eV.