

ПРИМЕНЕНИЕ КОРОННОГО РАЗРЯДА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**Ковалевский С. В., Сокур С. В.**

Рассмотрены свойства и характеристики коронного разряда. Проанализированы условия возникновения коронного разряда и причины его появления. Рассмотрен процесс возникновения данного разряда, который объясняется ионной лавиной. Приведена обобщенная классификация видов коронного разряда в зависимости от различных характеристик. Исследованы области применения коронного разряда для формирования рабочих поверхностей деталей машин и механизмов. Указаны энергетические характеристики, которые необходимы для реализации конкретного технологического процесса. В результате исследований стало очевидно, что для решения конкретных технологических задач возможно использование коронного разряда в условиях окружающей среды.

Розглянуті властивості та характеристики коронного розряду. Проаналізовані умови виникнення коронного розряду та причини його появи. Розглянуто процес виникнення даного розряду, який пояснюється іонною лавиною. Наведена узагальнена класифікація видів коронного розряду в залежності від різноманітних характеристик. Досліджені області застосування коронного розряду для формування робочих поверхонь деталей машин і механізмів. Вказані енергетичні характеристики, які необхідні для реалізації конкретного технологічного процесу. У результаті досліджень стало очевидно, що для рішення конкретних технологічних задач можливо використання коронного розряду в умов навколишнього середовища.

The properties and characteristics of corona discharge are considered. The conditions for the occurrence of corona discharge and its causes are analyzed. The process of this discharge, which is explained by the ion avalanche is considered. Generalized classification of corona discharge, depending on various characteristics is given. The areas of application of corona discharge to form the working surfaces of parts of machines and mechanism are studied. The power characteristics which are necessary to implement a particular process are specified. As a result of the research it became clear that it's possible touse a corona discharge in ambient conditions to solve specific technological problems.

Ковалевский С. В.

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ТиУП ДГМА
sergey.kovalevskii@dgma.donetsk.ua

Сокур С. В.

аспирант ДГМА

УДК 621.3

Ковалевский С. В., Сокур С. В.

ПРИМЕНЕНИЕ КОРОННОГО РАЗРЯДА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Известно, что коронный разряд – разновидность тлеющего разряда, возникает при резко выраженной неоднородности электрического поля вблизи одного или обоих электродов. Подобные поля формируются у электродов с очень большой кривизной поверхности (острия, тонкие провода). При коронном разряде эти электроды окружены характерным свечением, получившим название короны, или коронирующего слоя. Примыкающая к короне несветящаяся («тёмная») область межэлектродного пространства называется внешней зоной. Коронный разряд может иметь место при различных давлениях газа в разрядном промежутке, но наиболее отчётливо он проявляется при давлениях не ниже атмосферного. Появление коронного разряда объясняется ионной лавиной [1]. В газе всегда есть некоторое число ионов и электронов, возникающих от случайных причин. Однако, число их настолько мало, что газ практически не проводит электричества. При достаточно большой напряженности поля кинетическая энергия, накопленная ионом в промежутке между двумя соударениями, может сделаться достаточной, чтобы ионизировать нейтральную молекулу при соударении. В результате образуется новый отрицательный электрон и положительно заряженный ион. Разряд начинается, когда напряжение U между электродами достигает так называемого «начального потенциала» короны U_0 (типичные значения – тысячи и десятки тысяч вольт). Ток коронного разряда пропорционален разности $(U - U_0)$ и подвижности образующихся в разряде ионов газа он обычно невелик (доли мА на 1 см длины коронирующего электрода). При повышении U яркость и толщина коронирующих слоев растут. Когда U достигает потенциала «искрового перекрытия», коронный разряд переходит в искровой разряд [1, 2].

Начальная напряжённость поля короны E_k зависит от радиуса электрода и давления газа, при расчетах данного параметра может быть использована эмпирическая формула Пика [1]:

$$E_k = 31\rho\left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{\rho \cdot r_0}}\right), \frac{\text{кВ}}{\text{см}}, \quad (1)$$

где r_0 – радиус коронирующего электрода, см;

ρ – плотность воздуха при нормальных условиях, кг/см³.

Целью настоящей работы является исследование областей применения коронного разряда для формирования рабочих поверхностей деталей машин и механизмов.

Для осуществления поставленной цели нами поставлены следующие задачи:

- исследовать характеристики каждого из видов коронного разряда;
- исследовать области применения коронного разряда для осуществления технологических задач.

Коронный разряд можно классифицировать по следующим характеристикам:

1. В зависимости от знака напряжения, приложенного к коронирующему электроду:

- а) положительный;
- б) отрицательный;
- в) биполярный (перенос заряда осуществляется ионами разных знаков, заряд которых взаимно компенсируется в центральной части разряда).

Положительный коронный разряд образуется на проводнике, заряженном положительно. Этот тип короны имеет небольшой размер и выглядит как свечение вокруг определенного

места. Это относительно слабый источник коронного разряда, и он создает очень незначительный звуковой сигнал. В положительной короне коронирующая плазменная область совпадает с областью ионизации.

Отрицательный коронный разряд образуется на проводнике, заряженном отрицательно. Этот тип короны выглядит как пламя, форма, направление и размер которого постоянно изменяются. Эта корона очень чувствительна к изменению параметров окружающей среды. Ее возникновение также приводит к появлению звукового сигнала примерно удвоенной промышленной частоты (например, 100 Гц) или кратной ей.

Биполярная корона постоянного тока возникает в том случае, если оба электрода, на которые подается высокое напряжение, имеют малый радиус кривизны. В зависимости от знака приложенного напряжения на этих электродах будут существовать разные коронные разряды. В случае биполярной короны имеются два коронирующих электрода, которые окружены зоной ионизации. Перенос заряда осуществляется ионами разных знаков, заряд которых взаимно компенсируется в центральной части разряда. Биполярная корона имеет большое значение при проектировании линий электропередач [2].

2. По характеру импульса:

а) с кратковременным импульсом;

б) импульсный;

в) разряд на постоянном токе.

В целом формы импульсной короны подобны формам короны при постоянном напряжении [3] – свечение наблюдается вблизи активного электрода. Однако при импульсном воздействии корона имеет стримерную форму, тогда как при постоянном напряжении в случае отрицательной полярности активного электрода корона имеет облегающую форму, стримеров не наблюдается.

В настоящее время появляются новые перспективные направления использования коронного разряда. Например, эффективное применение коронный разряд нашел в области неразрушающего контроля. Для определения нарушений целостности металлического изделия использовано свойство короны загораться на неоднородной поверхности электрода (в качестве изделия исследовался металлический трос [3]). Коронный разряд возникает в том случае, если в тросе имеются поврежденные нити. Устройство позволяет вести контроль состояния троса в процессе работы и легко поддается автоматизации. Применение импульсного коронного разряда позволяет повысить эффективность локализации нарушений целостности троса.

Исследования состояния поверхности стального каната с помощью коронного разряда проводятся на экспериментальной установке (рис. 1). Канат 1 с дефектом в виде порванной проволоки 2 протягивается через кольцевой электрод (датчик 3). Между канатом и кольцевым электродом создается электрическое поле с помощью высоковольтного источника питания (ВИП) [4]. При движении каната через кольцевой электрод обрыв провода приближается к датчику. У конца выступающего провода вблизи датчика напряженность электрического поля достигает критической величины, необходимой для формирования коронного разряда 4 и протекания электрического тока. Это позволяет зарегистрировать местоположение неоднородностей поверхности стальных канатов, связанных с разрывом отдельных проволок, и подсчитать их количество на одном шаге свивки.

Критическая напряженность электрического поля оценивается по формуле Пика и зависит от температуры, состава окружающего газа, диаметров каната и датчика. Например, в случае применения стального каната диаметром 10 мм и датчика (внутренний диаметр 40 мм, толщина 13 мм) установлено, что в воздухе при нормальных условиях необходимое напряжение составляет 16 кВ. При более высоких напряжениях загорается коронный разряд с каната без дефектов, что осложняет регистрацию порывов проволок. Для предотвращения перехода коронного разряда в дуговой датчик соединяется с ВИП через ограничивающее сопротивление 5. Ток и напряжение разряда регистрируются микроамперметром и киловольтметром.

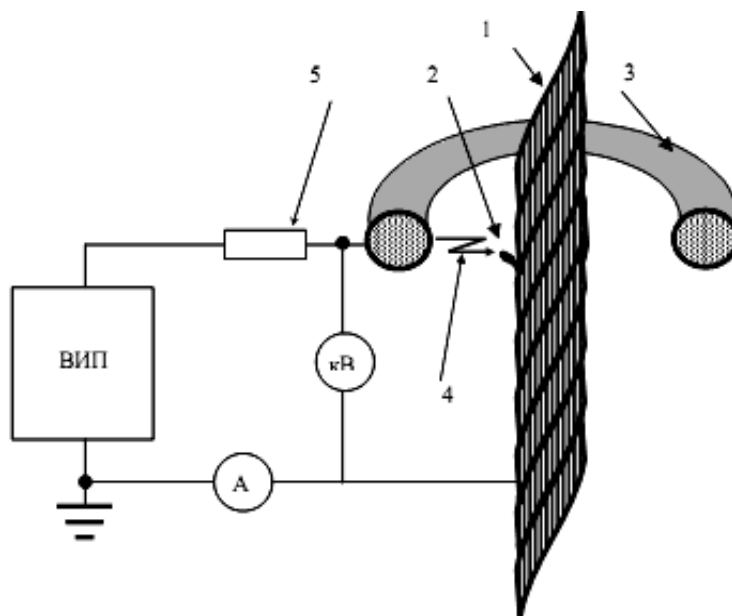


Рис. 1. Схема экспериментальной установки контроля качества стального каната:

1 – канат; 2 – дефект каната; 3 – кольцевой электрод (датчик); ВИП – высоковольтный источник питания; 4 – коронный разряд; 5 – ограничивающее сопротивление; А – микроамперметр, кВ – киловольтметр

Применение коронного разряда в электрографии и электростатической печати определяется свойствами короны. Эффективная зарядка частиц красителя осуществляется ионами, которые создаются в активной зоне короны. Перенос частиц красителя к барабану происходит под действием электрического поля коронного разряда.

Импульсный коронный разряд был успешно применен в полупромышленной установке для очистки от смол продуктов сжигания газа, полученного из биомассы. В последнее время интенсивно развиваются технологии получения наноматериалов.

Областью применения коронных разрядов является и обработка поверхностей полимерных материалов. Как правило, пластики имеют химически инертные и непористые поверхности с низким поверхностным натяжением, что затрудняет образование связей с подложками, печатными красками, покрытиями и клеями. Среди различных пластиков самую низкую поверхностную энергию имеют полиэтилен и полипропилен, именно эти два материала чаще всего подвергаются обработке для улучшения их адгезионных свойств. Цель поверхностной обработки – увеличить смачиваемость поверхности, таким образом, улучшая ее способность к образованию связей с растворителями, клеями, покрытиями и материалами для экструзионного покрытия. Система обработки коронным разрядом предназначена для повышения поверхностной энергии полимерных пленок, фольги и бумаги с целью увеличения смачиваемости и адгезии к печатным краскам, покрытиями и клеям. В результате обработанный материал показывает более высокие печатные и адгезионные свойства, а также более высокую прочность ламинирования.

Практически все электрофильтры для очистки воздуха в помещениях работают на коронном разряде. Установка с электрофильтром для очистки газов состоит в большинстве случаев из двух частей: собственно электрофильтра - осаждающей камеры, через которую пропускают газы, подлежащие очистке, и преобразовательной подстанции с соответствующей аппаратурой. В электрофильтр смонтированы электроды двух типов: осаждающие и коронирующие. Осаждающие выполняются из пластин или труб, а коронирующие выполняются из проволоки круглого или другого профиля. Заряженные взвешенные частицы под действием электрического поля движутся к электродам и оседают на них, а очищенные газы,

пройдя электрическое поле, выходят из электрофильтра. Эффективно использование коронного разряда для очистки воды [5]. Исследования показали, что при действии такого разряда переменного тока (с частотой 50 Гц) на поверхность воды концентрация растворенного озона может достигать 70 г/м^3 , а эффективность обеззараживания достигает 99 %.

Коронный разряд может эффективно использоваться в технологии самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) или синтез сжиганием. Осуществляя сжигание кремния с использованием газообразного азота, получают материалы нитридной керамики, а в кислороде или воздухе – оксидной керамики. Горение ультрадисперсного порошка кремния в воздухе или азоте при нормальных условиях не происходит из-за недостатка окислителя. Для проведения подобной реакции необходимы высокие давления реагирующего газа. Один из путей достижения предела воспламенения при нормальных давлениях – проведение реакции в жидком азоте или реализация СВС на порошках кремния сверхнизкой плотности [2].

Коронный разряд может также использоваться для упрочнения металлорежущего инструмента. Процесс реализуется таким образом: непосредственно перед нанесением покрытия проводят обработку режущего инструмента в поле положительного коронного разряда, а после его нанесения инструмент обрабатывают в импульсном магнитном поле [6].

Рассмотренные выше области использования коронного разряда ограничены изначально рабочей камерой, в которой происходит именно осуществление процесса. Следовательно, становится необходимым рассмотреть в дальнейшем возможности применения коронного разряда в окружающей среде, т. е. при атмосферном давлении.

ВЫВОДЫ

Были проанализированы характеристики коронного разряда в зависимости от типа короны и прикладываемого к коронирующему электроду импульса. В результате установили, что уникальные свойства коронного разряда дают возможность осуществления разнообразных технологических решений, таких как электроочистка газа и воды, электрография, генерация озона, дефектоскопия, активация порошковых материалов, создание наноматериалов, контроль металлических изделий, упрочнение и др. Для реализации конкретного технологического процесса необходимо управлять энергетическими характеристиками коронного разряда. В большинстве случаев это сводится к практически единственному способу – изменению величины напряжения в разрядном контуре, в том числе – в условиях окружающей среды (при отсутствии вакуума).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капцов Н. А. Коронный разряд / Н. А. Капцов. – М. : ОГИЗ, 1942. – 327 с.
2. Токарев А. В. Коронный разряд и его применение / А. В. Токарев. – Бишкек : КРСУ, 2009. – 138 с.
3. Контроль стальных канатов коронным разрядом / Г. В. Ашмарин, В. М. Лелевкин, И. А. Ниязалиев, А. В. Токарев // 5-Международная конференция плазменной физики и плазменной технологии, Минск, Беларусь, 16–22 сентября, 2006. – С. 808–811.
4. Предвар. пат. 0481 Кыргызская республика, МПК^с В 66 В 5/14. Способ обнаружения мест дефектов стальных канатов / Нифадьев В. И., Шамсутдинов М. М., Токарев А. В., Юданов В. А., Савченко С. А.; Заявитель и патентообладатель Кыргызско-российский славянский университет (КГУ). – Опубл. 01.11.01, Бюл. № 10.
5. Белинский В. В. Импульсный коронный разряд на поверхность электропроводящей жидкости и его использование для обработки воды / В. В. Белинский, И. В. Божко, Д. В. Чарный // Технічна електродинаміка. – Киев, 2010. – № 3. – С. 21–27.
6. Пат. 2101382 Российская Федерация, МПК^с С23С8/36. Способ упрочнения металлорежущего инструмента / Беккер М. С.; заявитель и патентообладатель Беккер М. С.; Егорычева Е. В.; Куликов М. Ю.; Полетаев В. А.; Никоноров А. В. – № 93019866/02; заявл. 15.04.93; опубл. 10.01.98.

Статья поступила в редакцию 03.11.2011 г.