

Степанов А. П.

**[СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЛЕЮЩЕГО И ДУГОВОГО РАЗРЯДА](#)**

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2008/12/51.html](http://www.gramota.net/materials/1/2008/12/51.html)

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по данному вопросу.

Источник

**[Альманах современной науки и образования](#)**

Тамбов: Грамота, 2008. № 12 (19). С. 161-163. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2008/12/](http://www.gramota.net/materials/1/2008/12/)

**[© Издательство "Грамота"](#)**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

Основываясь на вышеизложенном, можно сделать следующие выводы.

Сдвигающее и нормальное усилие вдоль геодезических линий с различным углом наклона к параллели имеют различные значения.

Величина усилий возрастает с ростом угла и достигает своей максимальной величины при угле наклона равном  $60^{\circ}$  (для исследованных значений).

Таким образом, располагая подкрепляющие ребра вдоль геодезической линии, можно добиться большей устойчивости конструкции.

#### Список использованной литературы

1. Белько И. В., Ведерников В. И., Воднев В. Т., Гусак А. А. и др. Сборник задач по дифференциальной геометрии. - М.: Наука, 1979. - 272 с.
2. Колкунов Н. В. Основы расчета упругих оболочек. - М.: Высшая школа, 1972. - 296 с.
3. Аладьев В. З., Богдьявичус М. А. Maple 6: решение математических, статистических и физико-технических задач. - М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. - 824 с.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЛЕЮЩЕГО И ДУГОВОГО РАЗРЯДА

Степанов А. П.

Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета

Появление новых областей приложения газового разряда, таких, как лазеры, плазмохимия, термоэмиссионные преобразователи, плазменные технологии поверхностей, нанотехнологии и др., стимулирует интерес к классическим типам разрядов, возможности приложения которых, как свидетельствует практика, постоянно расширяются. В статье проводится общий сравнительный анализ тлеющего и дугового разрядов.

Как тлеющий, так и дуговой разряд являются самоподдерживающимися разрядами в газах [Ховатсон 1980: 1], т.е. такими, которые не зависят от внешних ионизаторов и занимают соответственно область  $CE$  и область больших токов, находящуюся за точкой  $H$  вольт-амперной характеристики, приведенной на Рис. 1.

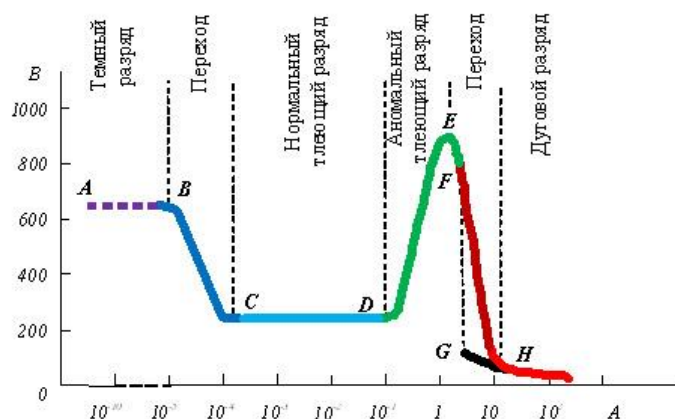
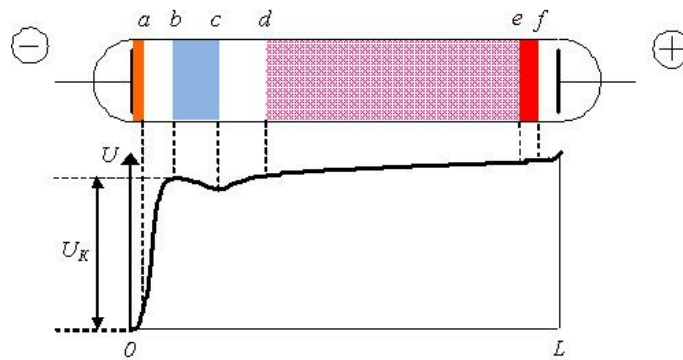


Рис. 1. Статическая вольт-амперная характеристика разряда низкого давления (порядка 1 мм. рт. ст.)

Тлеющий разряд (ТР) - это газовый разряд типичный при давлении  $\sim 0,1 - 10$  Тор, холодных электродах, при напряжении между электродами порядка нескольких сот вольт. ТР - слаботочный, его разрядный ток  $I_p$  от  $10^{-6}$  до 1 А. Характерные плотности тока на катоде в "нормальном" ТР  $\sim 10$  мА/см<sup>2</sup>.

Схематическое изображение внешнего вида ТР приведено на Рис. 2. Буквами на рисунке обозначены области с различными свойствами и характером свечения. Непосредственно к катоду прилегает тонкий светящийся слой (первое катодное свечение). Область  $ab$  представляет собой область катодного падения напряжения, или темное катодное пространство (область большого положительного объемного заряда);  $bc$  - область отрицательного свечения, возникающая вследствие соударений с электронами, ускоренными в области катодного падения напряжения;  $cd$  - фарадеево темное пространство, где электроны, потерявшие значительную часть своей энергии в области  $bc$  движутся слишком медленно, чтобы вызвать заметное возбуждение;  $de$  - положительный столб (плазменная область, в которой концентрации электронов и положительных ионов примерно равны). В некоторых случаях этот столб распадается на ряд слоев, или страт. Область от точки  $e$  до анода является анодной областью ТР.



**Рис. 2.** Схематическое изображение внешнего вида ТР и распределения потенциала

Разность потенциалов, существующая между катодом и ближайшей к нему границей темного пространства, называют катодным падением потенциала. Оно измеряется сотнями а в некоторых случаях и тысячами вольт. Наличие катодного падения потенциала является самым важным признаком ТР; без катодного падения потенциала ТР не может существовать.

Основные экспериментальные данные о положительном столбе (ПС) ТР:

- Свойства ПС ТР практически не зависят от его длины.
- Электронная температура в ПС  $T_e \sim 2$  эВ, тогда как ионная температура  $T_i$  порядка комнатной ( $T_i \sim 0,03$  эВ).
- Плотность электронов  $n_e \leq 10^{-6}$  см<sup>-3</sup> и, соответственно степень ионизации  $\alpha = n_e / n_0 \leq 10^{-6}$  при плотности атомов  $n_0 \geq 10^{16}$  см<sup>-3</sup>.

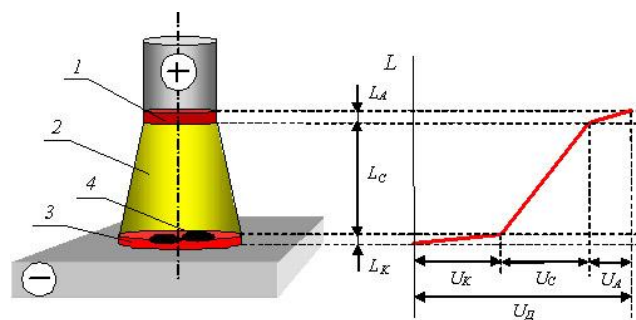
Таким образом, видно, что плазма в ТР принципиально неравновесная, поскольку имеет место большой разрыв величин электронной и ионной температур.

Повышение плотности газа в разрядном промежутке или увеличение напряжения приводит к переходу от нормального ТР к аномальному ТР, а затем к дуговому разряду (ДР) (Рис. 1). Разновидностей ДР очень много. Они связаны с различием катодных процессов, давлений, газов, форм и размеров сосудов, окружающих дугу и т.д.

ДР - электродный разряд при достаточно больших давлениях ( $p \geq 10$  Тор) вплоть до десятка и более атмосфер. Его внешними признаками могут служить наличие катодного и анодного пятен дуги, а также наличие трех зон: прикатодной, положительного столба и прианодного слоя (Рис. 3).

Организация физических процессов в этих зонах в ДР совсем другая, чем в ТР, соответственно различны параметры плазмы и ВАХ [Финкельбург 1961: 3]. В отличие от ТР дуговой разряд низковольтный. Характерные напряжения 15 - 30 В. ДР - сильноточный, его разрядные токи  $I_p \geq 1$  А и могут достигать многих тысяч Ампер. Плотность тока в катодном пятне может достигать больших величин  $j = 10^6$  А/см<sup>2</sup> и более. Малая величина катодного падения (порядка 10 В) является характерной чертой дугового разряда.

Принципиальной особенностью ДР является электронная эмиссия с катода. Радикально изменяются и положительные столбы. В ТР он термодинамически неравновесен, а в ДР он с хорошей точностью находится в термодинамическом равновесии.



**Рис. 3.** Электрическая дуга и распределение потенциала вдоль столба дуги: 1 - анодная область, 2 - столб плазмы, 3 - катодная область, 4 - катодные пятна

Отметим несколько экспериментальных фактов ПС, касающихся дуг горящих в неограниченной атмосфере:

- ВАХ таких дуг - падающая. Поэтому для стабилизации разряда в цепь включается балластное сопротивление.
- При достаточно больших разрядных токах собственное магнитное поле дуги начинает ее сжимать (пинч-эффект).

– В хорошем согласии эксперименты показывают, что: радиус канала растет с увеличением разрядного тока  $I_p$ , а плотность тока возрастает только логарифмически; также от  $I_p$  слабо зависит температура плазмы (возрастает), а напряженность  $E$ -поля падает.

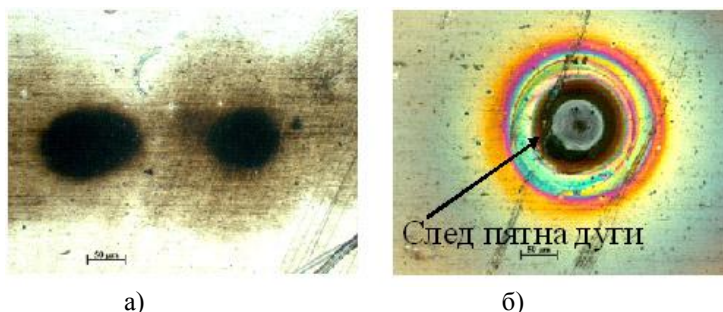
– Температура в дуге обычно находится на уровне 5000 - 10000 К, и она особенно круто изменяется вблизи периферии плазменного столба.

Теория тлеющего разряда обычно ведется с первых работ А. Энгеля и М. Штеенбека [Von Engel 1934: 6], [Энгель 1986: 5]. В соответствии с концепцией, предложенной в этих работах, катодный слой представляет собой переходную область между поверхностью катода и столбом плазмы. При умеренной длине положительного столба разряда в области катодного падения сосредоточено практически все напряжение, приложенное к промежутку. Роль катодного слоя в ТР состоит в том, чтобы за счет ионизационного размножения электронов усилить слабый электронный ток эмиссии с катода до величины электронного тока в квазинейтральной плазме разряда. Исходя из этих предположений, удастся построить теории процессов в ТР, которая находится в хорошем согласии с экспериментальными данными [Ховатсон 1980: 4], [Финкельбург 1961: 3], [Von Engel 1934: 6], [Энгель 1986: 5].

Теория ДР строится по аналогии с ТР [Финкельбург 1961: 3], [Самервилл 1962: 2]. Для этого предполагается, что вблизи поверхности металла в области порядка длины свободного пробега иона ( $l_i \sim 10^{-5} - 10^{-6}$  см) формируется слой объемного заряда, в котором имеет место существенное ( $\sim 10$  В) падение потенциала (катодное падение) и, следовательно, сильные ( $\sim 10^6 - 10^7$  В/см) электрические поля. Этот слой является основным источником энергии, обеспечивающим существование катодного пятна.

Ионы прикатодной плазмы ускоряются в слое объемного заряда по направлению к поверхности электрода, приобретая кинетическую энергию, которую они передают при столкновении поверхности металла. Эта энергия, вместе с энергией, выделяющейся при нейтрализации иона, составляют основной приток энергии к поверхности металла. С другой стороны, благодаря высокой температуре поверхности электрода в пятне и сильному электрическому полю в слое объемного заряда, электрод эмитирует электроны. Эти электроны ускоряются в слое объемного заряда и образуют высокоэнергетический пучок, поступающий в прикатодную плазму. Энергия, приносимая в прикатодную плазму эмитированными электронами, расходуется в зоне релаксации пучка на ионизацию и нагрев компонент плазмы.

Однако подобная модель процессов в ДР не может объяснить всей совокупности явлений и экспериментальных фактов. На Рис. 4 изображены следы от ТР и ДР. Видно, что след от ТР имеет диффузный характер, а в ДР след имеет форму четкого пятна. Теория Энгеля-Штеенбека не может объяснить локализацию разрядного тока. Разница в отпечатках говорит о качественном изменении физических процессов в ДР. Остается также открытым вопрос о механизме эмиссии электронов из металла в катодном пятне и др.



**Рис. 4.** Вид следа электрического разряда при различных режимах горения: а) ТР:  $U \approx 180$  В,  $I \approx 0,1$  А; б) ДР:  $U = 40$  В,  $I = 3$  А

Физику процессов при ДР раскрывает электродинамическая вихревая модели электрической дуги [Немова 2007: 1]. Сущность модели заключается в формировании вихревого токопроводящего канала при зажигании дуги. Между электродом и изделием возникает канал проводимости, который замыкает цепь тока источника питания дуги между анодом и катодом. Токопроводящий канал представляет собой вихревое движение частиц и все эффекты и явления электрической дуги определяются параметрами и поведением этого канала.

#### Список использованной литературы

1. Немова Т. Н., Степанов А. П. Вихревой механизм возбуждения электрической дуги // Известия вузов. Физика. - 2007. - Т. 50. - № 9/2. - С. 141-144.
2. Самервилл Дж. М. Электрическая дуга / Перевод с англ.; под ред. Л. Ю. Абрамовича. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. - 120 с.
3. Финкельбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма / Перевод с нем.; под ред. В. А. Фабриканта. - М.: ИЛ, 1961.
4. Ховатсон А. М. Введение в теорию газового разряда / Перевод с англ.; под ред. И. И. Иванчика. - М.: Атомиздат, 1980. - 182 с.
5. Энгель А. Ионизованные газы / Пер. с англ. - М.: Мир, 1986.
6. Von Engel and Steenbeck M. Elektrische Gasentladungen. - Berlin: Springer, 1934.