

В. О. Герман, В. С. Успенский

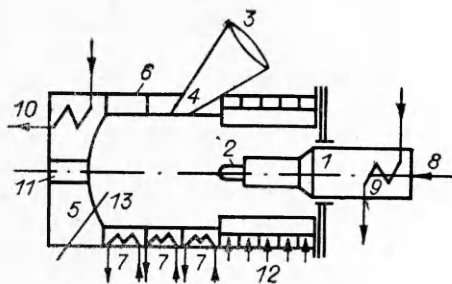
## О ДВУХ ФОРМАХ РАЗРЯДА В АРГОНОВОЙ ПЛАЗМЕ С ЭМИССИОННО-АКТИВНОЙ ПРИСАДКОЙ КАЛИЯ

В настоящее время имеется значительное количество работ, посвященных исследованию устойчивости распределенного разряда в газах при различных предположениях относительно характера течения в межэлектродном промежутке, внешней электрической цепи, приэлектродных падениях потенциала и т. п., например [1—6]. Потеря разрядом устойчивости априори может приводить к переходу решения, описывающего протекание тока в разряде, в новое стационарное состояние или погасанию разряда. При этом оказывается, что в ряде случаев может наблюдаться неединственность такого перехода. При заданном суммарном токе в разряде могут быть как распределенный режим разряда с диффузной привязкой на аноде, так и контрагированный с анодным пятном.

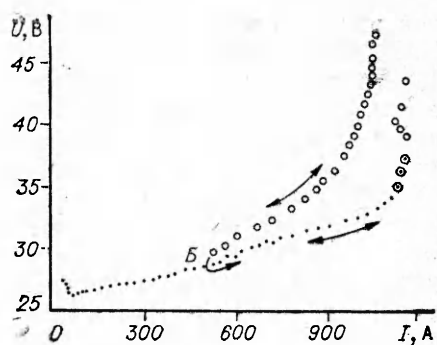
В предлагаемой работе экспериментально получена вольт-амперная характеристика (ВАХ) разряда в высокотемпературном аргоновом плазмотроне, имеющая распределенную и контрагированную ветви. Особенностью экспериментальной установки является подача малого количества эмиссионно-активной присадки калия в катод, обеспечивающей высокий ток термоэмиссии [7], в том числе в условиях атмосферного и повышенного давлений, так что на катоде в эксперименте независимо от поведения разряда в объеме плазмы проявляется диффузный характер привязки разряда. Тем самым исключается заметное влияние на разряд в объеме плазмы со стороны катода, что имеет место в большинстве других установок, когда возникает переход к автоэлектронному механизму эмиссии на катоде с появлением катодного пятна при контрагировании разряда. Обеспечение диффузной привязки разряда на катоде, по нашим представлениям, не провоцирует со стороны катода шнуrowания разряда в объеме плазмы, что наблюдается при переходе от термоэмиссионного механизма протекания тока на катоде к автоэлектронному. Экспериментально осуществлены выходы на распределенный и контрагированный стационарные режимы разряда в установке, отвечающие одному значению полного тока между электродами. Процесс выхода на распределенный режим разряда при больших токах ( $I > 600$  А) производится с помощью регулирования подачи в объем легкоионизируемой присадки калия с последующим прекращением ее подачи.

Экспериментальная установка сконструирована с учетом требований для металлопленочных вольфрамовых катодов, работающих в условиях атмосферного и повышенных давлений [7, 8]. Хорошо известны термокатоды с эмиссионно-активными присадками, работающие в условиях вакуума и температур поверхности, близких к температуре плавления. В отличие от них вольфрамовый катод с эмиссионно-активными присадками калия, цезия работает в условиях атмосферного и повышенного давлений в режиме термоэмиссии при температуре поверхности значительно меньшей ( $T_n \sim 2200$  °С). Существенную роль при выборе эмиссионно-активных присадок в условиях атмосферного давления играет высокий коэффициент адгезии цезия и калия к поверхности вольфрамового катода. Принципиальная схема установки изображена на рис. 1: 1 — корпус катода, 2 — катод, 3 — оптическое устройство, 4 — диафрагма оптического устройства, 5 — секционированный анод, 6 — корпус разрядной камеры, 7 — изоляторы, 8 — подача эмиссионно-активного вещества, 9, 10 — теплообменники, 11 — выходное сопло плазмотрона, 12 — подача рабочего газа, 13 — зонд.

Зажигание разряда в установке осуществлялось замыканием электродов тонкой проволокой или с использованием высокочастотного осциллятора. Межэлектродное расстояние менялось от 4 до 70 мм. Расход плазмообразующего газа аргона в установке достигал 6 г/с. Диапазон рабочих токов до 1500 А в условиях работы вольфрамового катода с эмиссионно-активным веществом. Во внешней цепи использовались три балластных водоохлаждаемых реостата сопротивлением по 0,4 Ом с возможностью переключения в цепи во время работы установки как параллельно, так и последовательно. Предельные характеристики машинного генератора постоянного тока и цепи: напряжение холостого хода 800 В, рабочий ток 1500 А.



Р и с. 1

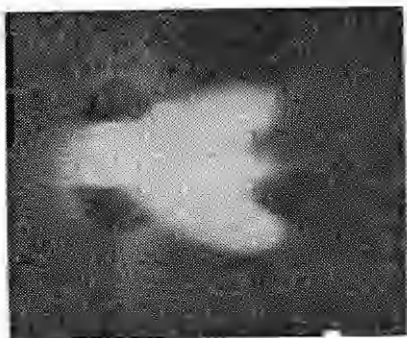


Р и с. 2

Система контроля за работой установки включала в себя калориметрирование водоохлаждаемых секций плазмотрона, измерение электрических характеристик разряда (напряжение и полный ток между электродами). Диагностика плазмы разряда осуществлялась по зондовой ВАХ, обрабатываемой по методике [9] в текущем времени эксперимента на ЭВМ. Определялась температура свободных электронов  $T_e$  и их концентрация  $n_e$ . Наличие оптической системы позволяло вести телевизионный контроль за состоянием поверхности анода в процессе эксперимента.

**Описание и результаты эксперимента.** После запуска установки на малых межэлектродных зазорах и расходах плазмообразующего газа (Ar) в катодную часть плазмотрона через пористую втулку подавалась калий-натриевая жидкая эвтектика (80 % K + 20 % Na). В катодном теле происходили испарение эвтектики и вынос ее в окрестность стержневого вольфрамового электрода. Средний расход эвтектики составлял на начальном этапе работы при запуске  $\sim 0,1$  г/с. При выходе на режим работы через 3—5 мин подача эмиссионно-активной эвтектики в катод снижалась до  $0,5 \cdot 10^{-5}$  г/с; последующее время работы установки составляло не менее 5 ч.

На рис. 2 приведена ВАХ разряда в аргоне, полученная экспериментально по стационарным состояниям разряда. Давление в рабочей камере  $p = 1$  атм. Расход аргона  $G_{Ar} = 0,3$  г/с, межэлектродный зазор  $l = 44$  мм, балластное сопротивление внешней цепи постоянного тока  $R = 0,8$  Ом. Точками отмечены состояния, отвечающие распределенной форме разряда с диффузной привязкой на аноде (рис. 3), кружками — контрагированный режим с анодным пятном (рис. 4), кружком с точкой — переходный режим, когда на фоне диффузной привязки к аноду возникают дуговые пятна. На рис. 3, 4 анод расположен справа и имеет коническую форму. Аналогичные режимы работы установки наблюдались также при работе на проточных анодах. Можно отметить, что изменение стационарного состояния с помощью управления ЭДС источника в ту или иную сторону (на рис. 2 отмечено стрелками) однозначно восстанавливает



Р и с. 3



Р и с. 4

как нижнюю ветвь — ВАХ распределенного разряда, так и верхнюю — ВАХ контрагированного разряда. Особенность перехода верхней ветви ВАХ в нижнюю (точка *B* — бифуркация ВАХ, см. рис. 2) заключается в том, что при плавном увеличении ЭДС источника в окрестности состояния точки *B* переход осуществляется вдоль нижней ветви и соответствует распределенной форме разряда. При резком повышении напряжения на электродах выключением части балластных реостатов преимущественно реализуется состояние с анодным пятном, отвечающее верхней ветви ВАХ. Имеет место двузначность стационарного решения; оба решения устойчивы. Переход от контрагированного на режим с распределенной формой разряда при токах  $I \geq 600$  А без регулирования ЭДС источника осуществляется с помощью первоначальной подачи в объем легкоионизируемой присадки с последующим ее отключением (остается минимальная подача в катод  $G_k \leq 0,5 \cdot 10^{-5}$  г/с, обеспечивающая его работу в режиме термомиссии с диффузной привязкой). При этом основным генератором свободных электронов в объемной части распределенного разряда вне электродов становится сам плазмообразующий газ аргон ( $T_e > 9500$  К по обработке зондовых ВАХ).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Недоспасов А. В., Хаит В. Д. Колебания и неустойчивости низкотемпературной плазмы. — М.: Наука, 1979.
2. Руткевич И. М., Синкевич О. А. Волны и неустойчивости в низкотемпературной плазме // Итоги науки и техники. Сер. Механика жидкости и газа/ВИНИТИ. — 1981. — Т. 14.
3. Bedeaux D., Mazur P., Pasmanter R. A. The ballast resistor; an electro-thermal instability in a conducting wire. 1. The nature of the stationary states // Physica. — 1977. — V. 86A, N 2.
4. Бенилов М. С. О нелинейных режимах протекания тока через слабоионизованный параллельный слой и об их устойчивости // Изв. АН СССР. МЖГ. — 1986. — № 4.
5. Бронин С. Я., Колобов В. М. Устойчивость диффузной формы разряда в приэлектродных областях МГД-генератора // Тр. 8-й Междунар. конф. по МГД преобразованию энергии. — М., 1983. — Т. 1.
6. Глинов А. П. Влияние сопротивления электродов и прикатодного падения потенциала на перегревную неустойчивость диффузного разряда в плотной плазме // ТВТ. — 1982. — Т. 20, № 5.
7. Герман В. О., Кукота Ю. П., Любимов Г. А. Стабилизация диффузной формы привязки разряда на охлаждаемых электродах с транспирационным вводом активизирующих присадок // Генерация потоков электродуговой плазмы. — Новосибирск: Наука, 1987.
8. Дюжев Г. А., Митрофанов Н. К., Старнев Е. А. и др. Физические исследования работы лугового полого катода. — Л., 1978. — (Препр./ЛФТИ им. А. Ф. Иоффе; № 583).
9. Бакит Ф. Г., Дюжев Г. А., Каплав В. Б. и др. Зондовая диагностика низкотемпературной плазмы. — Л., 1977. — (Препр./ЛФТИ им. А. Ф. Иоффе; № 532).

г. Москва

Поступила 24/II 1989 г.,  
в окончательном варианте — 20/IV 1989 г.

УДК 532.526.5

А. П. Хохлов

### К ТЕОРИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ С ПОГРАНИЧНЫМ СЛОЕМ НА ПОДВИЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Поведение пограничного слоя в окрестности точки отрыва на неподвижной или движущейся со скоростью  $u_w = O(Re^{-1/8})$  ( $Re$  — число Рейнольдса) поверхности описывается «трехпалубной» моделью течения, впервые введенной в [1, 2]. Для случая, когда поверхность движется вниз по потоку со скоростью  $Re^{-1/8} \ll u_w \ll 1$ , задача решена в [3, 4] для сверхзвуковых течений, в [5] — для несжимаемой жидкости. Для поверхности, движущейся вверх по потоку, численные результаты в рамках «трехпалубной» схемы представлены в [6].

© 1990 Хохлов А. П.