

04;12  
©1994

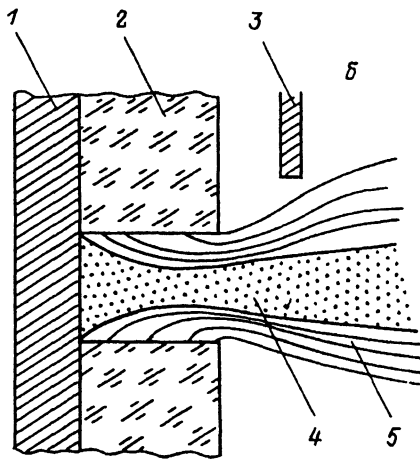
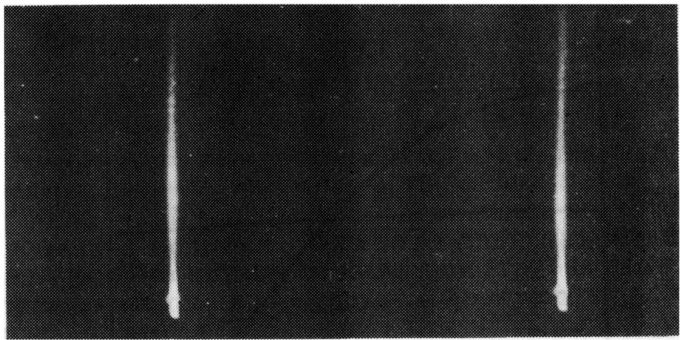
## О ГЕНЕРАЦИИ СИЛЬНОИОНИЗОВАННОЙ ПЛАЗМЫ С КОНДЕНСИРОВАННОЙ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗОЙ

*А.П.Ершов, И.Б.Тимофеев, С.Н.Чувашев, В.М.Шибков*

Плазменные потоки, формируемые разрядами в миниатюрных импульсных плазмотронах с геометрией, близкой к капиллярному разряду с испаряющейся стенкой, могут обладать рядом необычных свойств. Такие свойства характерны для плазмотронов с разрядным каналом с полиметилметакрилате диаметром  $d \simeq 1$  мм и торцевым графитовым электродом при относительно небольшом энергокладе  $\sim 10^2$  Дж и длительностях импульса тока  $\tau \simeq 10$  мс [1,2]. Истекающая в атмосферу струя не обнаруживает признаков расхождения, ее продольный размер при диаметре порядка 10 мм достигает 200-400 мм (рис. 1,а). Поток имеет ярко выраженную поперечную структуру: узкая, интенсивно излучающая приосевая область — “кern” диаметром 1-3 мм — окружена слабо светящейся “оболочкой” ( $d \simeq 6-10$  мм), которую можно удалить пропуская “кern” через диафрагму. В тонких металлических пластинах струя формирует отверстия с диаметром, близким к диаметру “керна”. Время существования “керна” после прекращения энергоклада аномально велико ( $\sim 3-10$  мс) [1,2].

Диагностика [3] и анализ динамики указанных плазменных образований показали, что формируемая ламинарная плазменная струя с наблюдаемым пространственным распределением температур и скоростей может быть описана соответствующим автомодельным решением [4], однако в области “керна” электронная концентрация  $n_e$  (измеренная по уширению линии  $H_\alpha$  водорода) на 1.5-2 порядка величины выше, чем в “оболочке”, при практически той же температуре  $T$  (рис. 2).

“Кern” соответствует трубкам ламинарного потока, огибающим на торцевой графитовый электрод (рис. 1,б). Однако атомарный углерод при измеренных  $T \simeq 6000$  К не может обеспечить наблюдаемых  $n_e$ . Вместе с тем в эмиссионных потоках с электродов может присутствовать конденсированная дисперсная фаза (КДФ). В рассматриваемых разрядах действительно наблюдается эрозия графитового торцевого электрода. Поскольку время испарения



**Рис. 1.** Фотография струи (а) и схема течения (б) электроэрозионной плазмы в канале разряда.

1, 2 — электроды, 3 — диэлектрик (полиметилметакрилат), 4 — плазма продуктов эрозии электрода (кern), 5 — плазма паров диэлектрика, 6 — воздух.

3–10-микронных частиц графита порядка времени пролета “горячей” области потока (внутри капилляра и в начальной части струи), более крупные частицы испариться не успевают. С поверхности частиц эмиттируются электроны, их приповерхностную концентрацию можно оценить по формуле [5]:

$$n_e = n_{eR} = 2 \left( \frac{mkT}{2\pi h^2} \right)^{3/2} \exp \left\{ -\frac{e\varphi}{kT} \right\}, \quad (1)$$

где  $m$  и  $e$  — масса и заряд электрона,  $\varphi$  — работа выхода,  $n_{eR}$  — ричардсоновская концентрация.

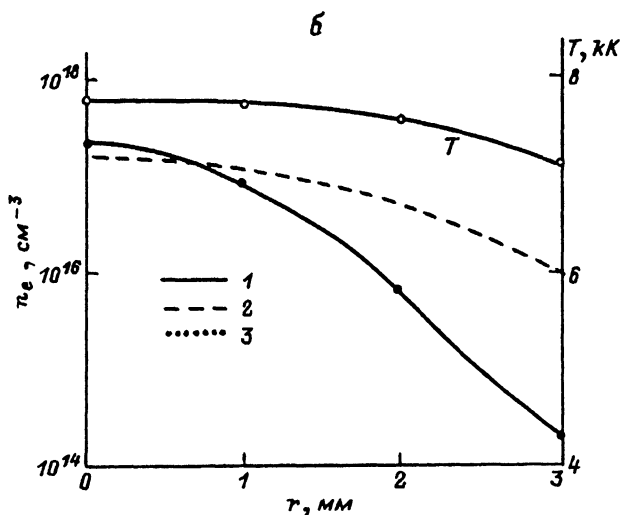
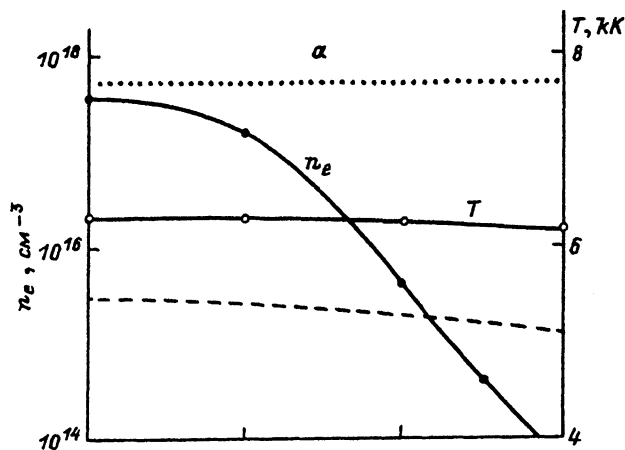


Рис. 2.

1 — эксперимент, 2 — расчет по формуле Саха, 3 — по (1) профили концентрации  $n_e$  и температуры  $T$  в области ядра на расстоянии 10 мм от сопла при торцевом электроде из графита (а) и ВДПМ (б).

Расчет  $n_e$  по (1) для графита ( $\varphi = 4.7$  эВ) при  $T = 6000$  К дает совпадение с экспериментальными значениями  $n_e$  (рис. 2,а); видимо, распространение электронных облачков от поверхности обеспечивается эффективной компенсацией объемных зарядов ионной компонентой, образующейся при поверхностной ионизации в тянущем электро-

статическом поле и (или) поступающей из прилегающих к керну плазменных потоков. Таким образом, в рассматриваемых дуговых разрядах формируются ламинарные потоки сильноионизованной плазмы с конденсированной дисперсной фазой.

С учетом этого легко интерпретировать такие свойства плазменных потоков, казавшиеся необычными и не находящими объяснений в рамках традиционных подходов [1,2], как аномально большая длина керна при малых поперечных размерах без признаков диффузии (трубка ламинарного потока с частицами, броуновское движение которых значительно медленнее диффузии в газовой плазме); возможность отделения “керна” от “оболочки” (при пропускании через диафрагму); аномально длительное время свечения (время остывания графитовых частиц — порядка миллисекунд); относительно большая пробивная способность керна при взаимодействии с металлами, и др.

К близким результатам привели эксперименты с медным торцевым электродом, существенно эродирующим в капельной фазе. В то же время переход на материал электрода, практически не формирующий при данных условиях конденсированной дисперсной фазы (ВДПМ — пористый вольфрам, пропитанный медью), привел к образованию в приосевой области потока плазмы с концентрацией электронов, близкой к рассчитанной по формуле Саха для измеренной температуры (рис. 2,б).

Таким образом, основная причина возникновения “керна” связана с конструктивными особенностями капиллярного инжектора плазмы и обусловлена наличием в плазме струи конденсированной мелкодисперсной фазы углерода, если торцевой электрод выполнен из графита, или капельной мелкодисперсной фракции меди, если торцевой электрод — медный, термоэлектронная эмиссия с которых при данной температуре плазмы соответствует наблюдаемым в эксперименте значениям  $n_e$ .

## Список литературы

- [1] *Авраменко Р.С., Баттин Б.И., Николаева В.И. и др. // ЖТФ. 1990. Т. 60. В. 12. С. 57.*
- [2] *Авраменко Р.Ф., Гридин А.Ю., Климов А.И., Николаева В.И. // ТВТ. 1993. Т. 31. В 1. С. 36.*
- [3] *Ершов А.П., Имад И.Х., Сысоев Н.Н. и др. // II Всесоюз. симп. по радиационной плазмодинамике. М.: МГТУ. 1991. Ч. II. С. 86*
- [4] *Cebeci T., Bradshou P. // Physical and computational aspects of convective heat transfer. N.Y., Springer-Verlag, 1984.*
- [5] *Недоспасов А.В. // УФН. 1968. Т. 94. С. 439.*

Московский государственный  
университет им. М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию  
21 апреля 1994 г.

