

УДК 537.523: 533.924

А.В.Балашов (асп. каф. ЭиЭ), С.В.Дресвин, д.т.н., проф.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВЧИ-ПЛАЗМОТРОНА МОЩНОСТЬЮ 10 кВт И ЧАСТОТОЙ 5 МГц, РАБОТАЮЩЕГО НА СМЕСИ ГАЗОВ Ar+H₂

В начале 60-х годов добавление небольшого количества водорода в плазму использовалось в качестве “водородного термометра” для определения ее параметров (концентрации n_e и температуры T_e электронов) по контурам бальмеровской серии [1]. Тогда уже было установлено влияние этой примеси на характеристики дуги и на параметры плазмы [1...3]. В дальнейшем добавление водорода к аргону нашло широкое применение как эффективный способ увеличения теплосодержания плазменной струи [3]. В связи с этим существует целое направление исследований инертных газов с водородом. Данные исследования посвящены водородосодержащим молекулам и механизмам их образования через возбуждение атомов. Интерес к этим вопросам обусловлен еще и большим интересом к R–H системам как простейшим при моделировании процессов передачи энергии.

Во всем разнообразии плазменных объектов, содержащих смеси инертных газов с водородом, важным вопросом является влияние примеси H₂ на параметры плазмы. Основная роль примесных молекул H₂ состоит в уменьшении количества возбужденных атомов Ar^{*} и Ar₂^{*} [4]. Это, в свою очередь, отражается на кинетике ионизации – рекомбинации и, следовательно, на параметрах плазмы. Необходимым и достаточным условием отсутствия возмущающего воздействия примеси водорода на плазму является сохранение связей и переходов между компонентами плазмы [5]. Можно оценить предельное процентное содержание водорода, до которого можно доводить величину $\alpha = [H_2]/N \cdot 100\%$, не искажая параметров плазмы Ar. Оказывается, что при концентрации атомов аргона $N = 10^{19} - 10^{21} \text{ см}^{-3}$ содержание водорода $\alpha_H = 0,1\%$ практически не сказывается на параметрах плазмы. По мере роста α_H зона слабого влияния водорода сокращается, при $\alpha_H > 1\%$ начинается заметное влияние на параметры плазмы Ar [5]. Примесь водорода тем значительнее влияет на параметры плазмы, чем меньше концентрация электронов. Минимальное влияние реализуется в области больших n_e и N , максимальное – в области малых N , либо больших N и малых n_e [6].

Далее был проведен расчет параметров ВЧИ-плазмотрона мощностью $P = 10 \text{ кВт}$ и частотой $f = 5 \text{ МГц}$, работающего на аргоне с примесью водорода, причем добавка водорода составляла 3%. Расчет производился с использованием метода контрольного объема [7]. Для того, чтобы начать расчет поля температур плазмы, нужно задать начальное распределение температуры, а также свойства плазмы. Обычно начальное приближенное поле температур берется из соображения, что плазма должна быть электропроводящей средой. Это значение соответствует $T = 7000 - 8000^\circ \text{ К}$. Свойства смеси Ar+H₂ были взяты из литературы [8].

Были совместно решены следующие уравнения и задачи: уравнение баланса энергии, уравнение движения плазмы, электромагнитная задача. В результате расчета получены следующие локальные параметры плазмы: температура, скорость V_r и V_z , давление, а также электромагнитные параметры F_r , F_z , H_r , H_z , A , J .

В результате анализа графиков распределения энтальпии в плазмотроне для случая чистого аргона и для случая смеси аргона с водородом можно сделать вывод, что добавка водорода способствует существенному увеличению теплосодержания плазменной струи.

Данные расчета помогают определить оптимальные режимы работы плазмотрона. В дальнейшем эти результаты могут использоваться для расчета движения и нагрева частиц в плазменном потоке.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Асиновский Э.И., Батенин В.М. // ТВТ. 1965. Т3. №4. С. 530.
2. Коротеева А.С., Ломовцев М.Л., Мякин Л.П. // В кн.: Генераторы плазменных струй и сильноточные дуги. М.: Наука, 1973. С. 20.
3. Полак Л.С., Словецкий Д.И. // ТВТ. 1974. Т. 12. №5. С. 921.
4. Колоколов Н.Б., Кудрявцев А.А. // Химия плазмы. Вып. 5. М.: Энергоатомиздат. 1989. С. 127.
5. Батенин В.М., Коршунов О.В., Чиннов В.Ф. // ТВТ. 1989. Т. 27. №4. С. 625.
6. Коршунов О.В. Формирование параметров неравновесной пучковой плазмы инертных газов. Дис. на соискание уч. ст. канд. физ.-матем. наук. М.: ИВТАН. 1987. 202с.
7. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоатомиздат, 1984.
8. Boulos M., Fauchais P., Pfender E. Thermal plasmas: fundamentals and application. Vol.1. New York, Plenum press, 1994.