

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИНТЕНСИВНОСТИ УДЕЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ К ПОВЕРХНОСТИ В СТРУЯХ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО БЕЗЭЛЕКТРОДНОГО ПЛАЗМОТРОНА НА ВОЗДУХЕ

С. В. Кононов, М. И. Якушин

(Москва)

Изучение тепловых характеристик струй плазмы, полученных на безэлектродном высокочастотном плазмотроне, находится в первоначальной стадии исследования [1].

Ниже приводится некоторый результат экспериментального исследования удельных тепловых потоков, полученных в струях высокочастотного безэлектродного плазмотрона на воздухе.

Экспериментальные данные сравниваются с известными, полученными на других газах и источниках.

Разряд создавался в кварцевой трубе внутренним диаметром 55 мм, помещенной в четырехвитковый соленоид. Форкамерная часть разрядной камеры имела устройство для гидродинамической стабилизации струи и воздушного охлаждения внутренних стенок разрядной полости. Воздушное охлаждение наружных стенок не влияло на гидродинамику рабочей струи. Расход и давление рабочего газа поддерживались двухкамерными вентилями.

В качестве источника энергии был использован промышленный высокочастотный ламповый генератор типа ЛГД. В схему и конструкцию системы колебательных контуров и высоковольтного выпрямителя были внесены усовершенствования, которые обеспечивали плавный ввод мощности в струю плазмы от 3 до 40 *квт* в диапазоне частот 6—18 *мгц*. Мощность, вводимая в плазму, вычислялась по измеренным напряжению и току в цепи анодного питания генераторной лампы с учетом потерь в элементах генератора обычным способом. Измерение теплового потока производилось медным трубчатым зондом диаметром 2 мм, описанным в работе [2].

Зонд размещался по потоку в плоскости, перпендикулярной оси струи на расстоянии 37.5 мм от крайнего витка соленоида. Место обтекания трубчатого зонда струей перемещалось в направлении *x* в плоскости своего расположения. Перемещение в направлении *x* осуществлялось двухкомпонентным координатником с точностью 0,1 мм.

Тепло, воспринимаемое зондом, подсчитывалось по измеренным значениям расхода и нагреву охлаждающей воды. Измерения производились в достаточном числе точек, чтобы получить плавную зависимость количества тепла, переданного трубчатому зонду, в функции расстояния *x* по линии перемещения.

Полученное, таким образом, распределение теплового потока имеет осевую симметрию относительно максимального $Q(x)$ при $x=0$. Осевая симметрия, полученная для зависимости $Q(x)$, совпадает с осью струи. Наличие осевой симметрии позволило преобразовать зависимость теплового потока $Q(x)$ в радиальное распределение удельного теплового потока $q(r)$. Такое преобразование, как известно, имеет вид:

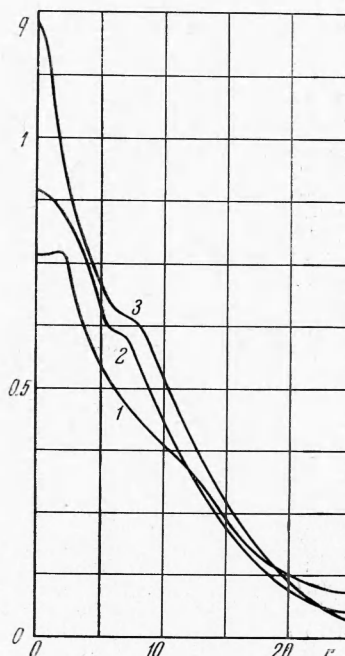
$$Q(x) = 2A \int_0^R \frac{q(r) r dr}{\sqrt{r^2 - x^2}}$$

Задача по определению $q(r)$ была решена на основании вышеприведенного уравнения для 25 точек численным методом [3] на ЭВМ БЭСМ.

На фигуре представлены итоговые данные: три зависимости для различных режимов работы плазмотрона.

Режимы были получены при поддержании неизменного напряжения на соленоиде в условиях изменения расхода газа.

Режимы	1	2	3	
<i>P</i>	= 16.6	18.25	19.35	[квт]
<i>G</i>	= 1.2	1.065	0.595	[г/сек]



Отметим, что у кривых 2 и 3 максимальное q получено для $r = 0$.

По форме кривая 1 отличается от двух других: она имеет два максимума и плато с небольшим провалом при $r = 0$. Профили кривых 2 и 3 имеют ярко выраженные точки перегиба, которые при повторных экспериментах и обработке на ЭВМ «Урал» повторились. Такую же точку перегиба можно наблюдать на профиле кривой $q(r)$ [4].

Следует отметить, что небольшая погрешность в начальных данных при пересчете $Q(x)$ на $q(r)$ изменит изображенные на фигуре профили кривых, однако характерные особенности, как показала проверка, сохраняются.

Ниже для трех режимов приведены некоторые значения удельных тепловых потоков

$r =$	0	5	10	15	20	[мм]
$q_3 =$	1.43	0.824	0.6	0.312	0.13	} [квт/см ²]
$q_2 =$	1.05	0.776	0.518	0.259	0.106	
$q_1 =$	0.895	0.654	0.46	0.283	0.136	

Для всех кривых видно, что тепловой поток, воспринимаемый зондом, не обращается в нуль на расстоянии, равном радиусу канала от оси. Это связано с граничными условиями на стенках разрядной камеры.

Ниже в таблице приведены данные последних работ по измерению тепловых потоков в плазменных струях и химических пламенах.

Значения сравниваемых максимальных удельных тепловых потоков к цилиндрическим и плоским поверхностям при прочих равных условиях по порядку совпадают.

В последней строке таблицы приводятся результаты авторов.

Источник тепла	Род газа	G [г/сек]	$\max q$ [квт/см ²]	Литература
Химическое пламя	O ₂ + H ₂	9.45	4.1	[2]
Химическое пламя	воздух + CH ₄	0.22	0.13	[2]
Дуговой плазмотрон	Ar	1.18	0.092	[4]
Дуговой плазмотрон	Ar	0.25	1.83	[5]
Дуговой плазмотрон	воздух	1	1.69	[6]
Высокочастотный безэлектродный плазмотрон	Ar	0.7	0.14	[1]
Высокочастотный безэлектродный плазмотрон	воздух	0.595	1.43	—

Из сравнения трех различных источников тепла видно, что высокочастотный безэлектродный плазмотрон является установкой, заслуживающей внимания.

Поступила 9 IX 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. Reed T. B. Heat Transfer Intensity from Induction Plasma and Oxy-Hydrogen Flames. J. Appl. Phys., 1963, vol. 34, p. 2266.
2. Stresino E. F., Anderson J. E. Heat Transfer from flames Impinging and Flat and Cylindrical Surfaces. Trans. ASME, ser. C, 1963, vol. 85, No 1, p. 49.
3. Пирс. Расчет распределения по радиусу фотонных излучателей в симметричных источниках. Сб. Получение и исследование высокотемпературной плазмы. (Под ред. В. А. Фабриканта), Изд. иностр. лит., 1962.
4. Dreusicke M., Neumann B. Wärmestrommessungen an einem Laugbogen — Plasmastrahl. Beitr. ans der Plasma Physik., 1966, B. 6, H. 3, S. 175.
5. Рыкалин Н. Н., Николаев А. В., Кулагин И. Д. Тепловой поток в тело, взаимодействующее с плазменной струей. Теплофизика высоких температур, 1965, т. 3, № 6.
6. John R. R., Recesso J. Ablation Characteristics of a Subliming Material Using arc Heated air. ARS J., 1959, vol. 29, No. 9, p. 663.