

УДК 537.523: 533.924

Е.Е.Смирнов (асп. каф. ЭиЭ), М.А.Зотов (4 курс, каф. ЭиЭ),  
В.И.Яковлев, д.т.н., проф.

## КОНВЕКТИВНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ МОЩНОСТИ ДУГОВОГО РАЗРЯДА НА АНОДЕ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ РЕЗКИ И СВАРКИ

При исследовании энергетических характеристик дуги, используемой для сварки или резки металла, необходимо оценить влияние конвективного теплообмена плазменной струи на величину мощности, передаваемой от дуги к изделию. Такая оценка может быть выполнена на основе изучения течения и теплообмена струи низкотемпературной плазмы, взаимодействующей с преградой, которую представляет струям дуги свариваемое или разрезаемое изделие.

Экспериментальные исследования взаимодействия струи низкотемпературной плазмы, соответствующие процессам сварки и резки металла, проводились на двух лабораторных установках. Одна из установок создает сжатую дугу за счет ее прохождения через узкое сопло с диаметром выходного сечения 1,5 мм. Другая установка моделирует процесс сварки и создает стабилизируемую внешним потоком газа свободную дугу с конусным расширением к аноду. Анод в том и другом случаях представляет собой медную водоохлаждаемую пластину, что позволяет калориметрическим способом измерить мощность выделяемую дугой в изделии. Рабочим газом являлся аргон, расход которого контролировался по ротаметру.

Расчетный анализ выполнялся с привлечением обобщенных зависимостей газодинамических параметров плазменных струй растекающихся вдоль преграды, полученных в [1]. При этом газ в пограничном слое рассматривался для двух состояний: как “замороженный”, когда скорость газа значительно превышает скорость химических реакций, и как находящегося в термодинамическом равновесии, когда скорость газа меньше скорости химических реакций. В первом случае становился важным учет турбулентности. Такими параметрами являлись профили скоростного напора, скорости газа, плотности газа, избыточной температуры и избыточного потока теплосодержания, для которых получены аналитические зависимости в поперечном сечении струи и которые указывают на турбулентное перемешивание газов в рассматриваемых дугах. Эффективная толщина струи рассчитывалась на основании известных экспериментальных зависимостей – статического давления по поверхности преграды и полного давления вблизи точки торможения, которые для широкого диапазона токов и длин сварочных дуг приводятся в [2].

В результате приближенно определялся градиент скорости в окрестности точки торможения. Оказалось, что в движущемся газе тепловой поток, поступающий в анод, существенно зависит от градиента скорости в точке торможения или, как его еще называют, градиента скорости модифицированного Ньютоновского течения. Расчет коэффициента теплоотдачи производился с учетом турбулентности газовой струи низкотемпературной плазмы, причем интенсивность турбулентности по данным [3, 4] принималась равной 0,2.

Поскольку течение газа приобретает турбулентный характер при условиях, когда либо скорость движения газа значительно превышает среднюю скорость тепловых движений молекул, либо радиус поперечного сечения плазменной струи становится больше по сравнению с длиной свободного пробега. При использовании дуги для резки металлов, в отличие от сварочной дуги, наблюдается практически выполнение этих двух условий турбулентного потока.

Для рассматриваемой установки моделирующей сварочную дугу, градиент скорости в точке торможения во внешнем потоке составил  $\approx 20 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ , а для сжатой дуги моделирующей дугу для резки —  $\approx 780 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ , то есть в 39 раз больше.

В результате получено, что доля конвективной составляющей мощности в сжатой дуге, используемой для резки металла, составляет значительно больший процент по сравнению с долей конвективной составляющей мощности, используемой для сварки металла.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Белов И.А., Гинзбург И.П., Горшков Г.Ф., Терпигорьев В.С. Течение и теплообмен струи низкотемпературной плазмы, взаимодействующей с преградой. Сб. “Тепломассообмен–V”, Т.1, Ч.2, Минск, 1976., с. 131–139.
2. Шоек П.А. Исследование энергетического баланса в аноде дуг высокого давления, горящих в атмосфере аргона. Сб. “Современные проблемы теплообмена”, М., Энергия, 1966.
3. Хинце И.О. Турбулентность. М.: Физматгиз, 1963.
4. Pavlovii P., Stefanovii P., Vujovii V. Measurement of total heat flux distribution for normal impinjection of air plasma jet on a flat plate. Thermal plasma, pp.315–322.