

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК СЖАТОЙ ВОЗДУШНО-ДУГОВОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ РЕЗКИ

А. Ж. Жайнаков, Г. Дж. Кабаева, Н. А. Аманкулова

Институт горного дела и горных технологий им. академика У. Асаналиева КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызстан

В настоящей работе представлены результаты расчета равновесного состава и теплофизических характеристик плазмообразующего газа - воздуха в температурном интервале от 300 К до 35000 К, при давлениях от 0,1 МПа до 0,7 МПа с использованием многоцелевого программного комплекса АСТРА.4

This paper presents the results of the calculation of the equilibrium composition and thermodynamic parameters of the plasma gas - air in the temperature range from 300 K to 35,000 K at pressures of 0,1 MPa to 0,7 MPa using multipurpose software package ASTRA.4

Электродуговая плазма эффективно используется в различных областях производства, связанных с обработкой материалов: для сварки, резки, напыления тугоплавких материалов и т.п. В нашей стране, известны примеры применения ручных плазмотронов в промышленном и гражданском строительстве и даже в мебельных цехах для резки металлических конструкций различного назначения.

Для резки металлов применяются дуговые плазмотроны прямого действия, причем разрезаемое изделие выступает в качестве второго электрода - анода. В плазмотрон подается рабочий плазмообразующий газ под давлением от 0,1 до 0,7 МПа и защитный газ для предотвращения двойного дугообразования на сопле, а также сжатия столба дуги [1-3]. За соплом плазмотрона находится открытая часть дуги, протяженностью от поверхности сопла до анодного пятна на изделии. Электродуговая плазма, применяемая для резки металлов, характеризуется высокими энергетическими и газодинамическими параметрами, обеспечивающими разрезание изделия.

На электрические и тепловые характеристики плазмотрона влияет плазмообразующий (рабочий) газ, определяя теплофизические и динамические свойства дуговой плазмы, ее химическую активность. Вычисление состава и теплофизических свойств плазмы, является важнейшим вопросом физики газового разряда и обязательной частью расчетов при моделировании плазменных процессов [3,4]. Существующие в настоящее время табличные и справочные данные по транспортным и термодинамическим свойствам газов и их смесей охватывают ограниченные интервалы температур и давлений. В большинстве из этих работ, расчеты проводились с использованием простых моделей потенциалов взаимодействия частиц, которые при различных температурах приводят к ошибкам от 15% до 50%. Недостаток экспериментальных данных при температурах выше 25000 К, приводит к необходимости проведения предварительного анализа, выбора методики и расчета состава и теплофизических свойств воздушной плазмы. Кроме того, отсутствуют опубликованные данные по

влиянию состава воздушной смеси на теплофизические свойства дуговой плазмы.

С целью определения характеристик сжатой воздушно-дуговой плазмы, в настоящей работе выполнены расчеты равновесного состава, сечений столкновений, теплофизических свойств и транспортных коэффициентов плазмообразующего газа - воздуха в температурном интервале от 300 К до 35000 К, при давлениях от 0,1 МПа до 0,7 МПа. Для расчета использован универсальный программный комплекс АСТРА 4/ps [8].

В воздушной плазме в рассматриваемом температурном интервале существуют электроны, молекулы, молекулярные ионы, атомы и атомарные ионы. Состав воздушной смеси задавали в весовых долях с учетом смешивания со спутными газами Ar, CO₂ в различных соотношениях компонентов. Расчеты были выполнены в двух вариантах: первом случае расчет равновесных концентраций для всех компонентов термодинамической системы; втором случае только расчет преобладающих компонентов в рассматриваемых условиях. Рассмотрены следующие, в процентных соотношениях компонентов, составы воздушной плазмы: 1) 21% двухатомного кислорода, 78% двухатомного азота, 0,93% аргона и 0,02% углекислого газа; 2) 11% двухатомного кислорода, 68% двухатомного азота, 0,83% аргона и 0,03% углекислого газа.

При повышенных температурах компонентные составы воздушной плазмы состоят из следующих видов: N₂, O₂, Ar, O, N, NO, N⁺, O⁺, NO⁺, O⁻, NO₂, N₂⁺, N₂O, N₂C, CO₂, C₂O, CN₂, C₂N, C₂, NCO, C⁻, C⁺, NO₂⁻, O₂⁺, O₂⁻, Ar⁺, CN⁻, CN⁺, CO₂⁺, C₂⁺, NO₂⁺, N₂O⁺, C, CO, CN, CO, C₂⁻, e.

Результаты выполненных расчетов приведены на рис.1-4. Компонентный состав плазмообразующего газа воздуха состоит из двухатомных молекул, мономерных молекул, положительных ионов, отрицательных ионов и свободного электрона. Из расчетных данных видно, что при более низких температурах доминируют в основном компоненты N₂, O, Ar, O₂. Для среднего температурного диапазона доминирующими являются атомы и молекулы N, O и NO и молекулярные ионы. Результаты

удовлетворительно согласуются с данными других авторов [5-7], имея некоторый разброс при высоких температурах. Это объясняется в

основном используемыми методами вычислений интегралов столкновений и концентрационных компонентов воздуха.

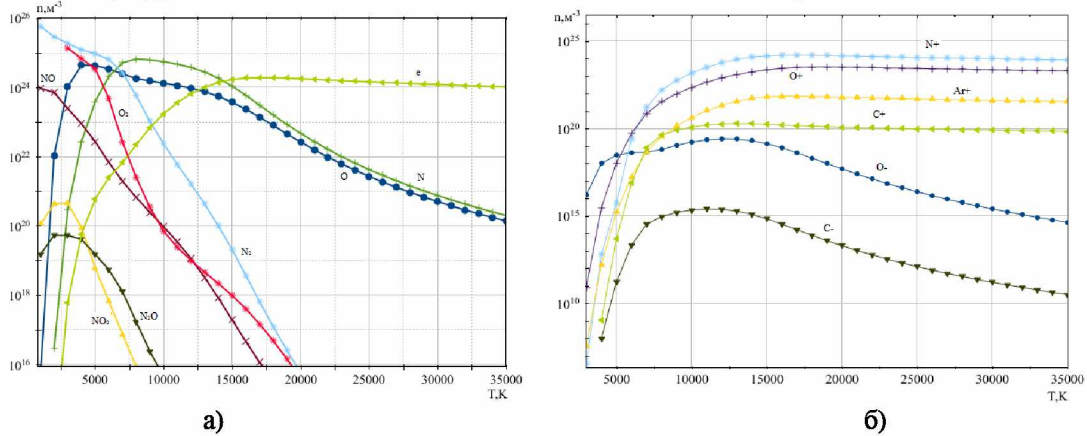


Рис.1. Состав воздушной плазмы для всех компонентов термодинамической системы: а) состав нейтральных видов; б) состав ионизированных видов при $P=0,1\text{МПа}$.

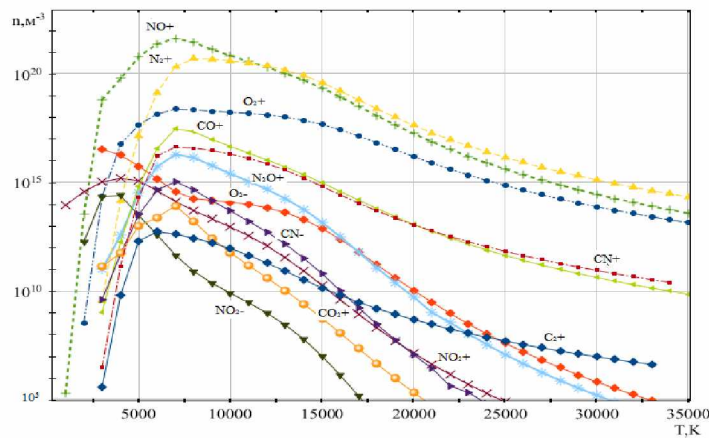


Рис. 2. Молекулярные ионы воздушной плазмы для всех компонентов термодинамической системы при $P=0,1\text{МПа}$, $T=1000 - 35000\text{К}$.

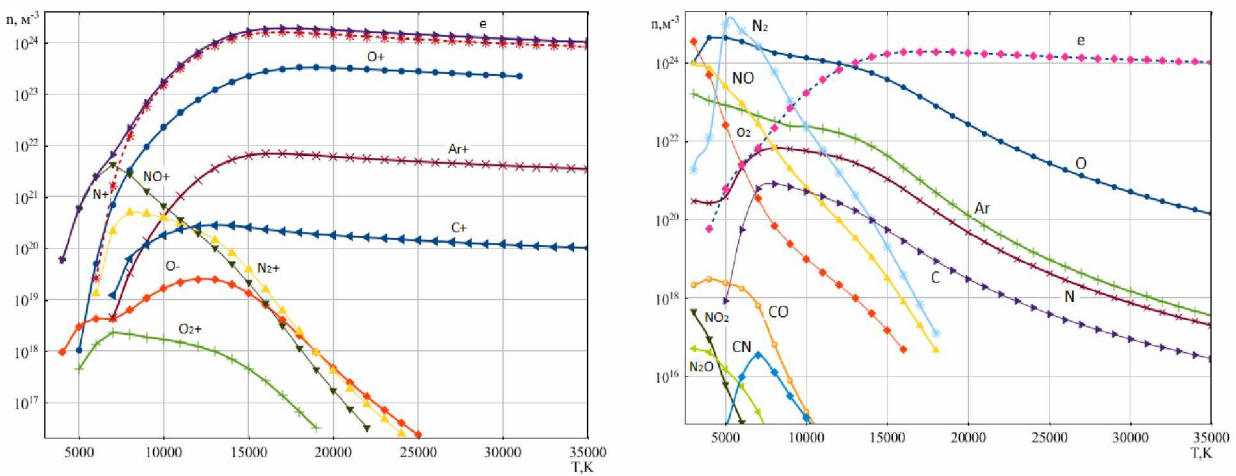


Рис. 3. Концентрация нейтральных и ионных, преобладающих компонентов воздушной плазмы при $P=0,1\text{МПа}$, $T=3000 - 35000\text{К}$.

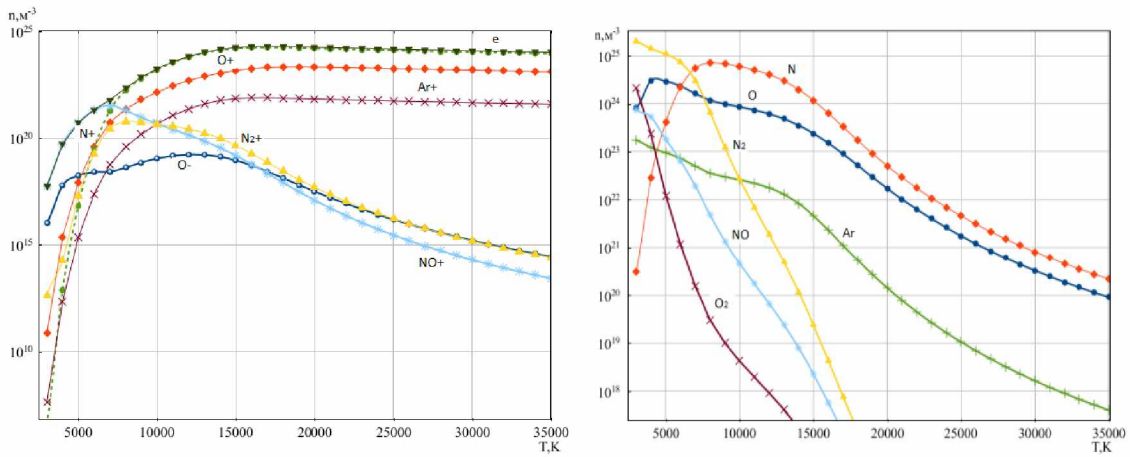


Рис. 4. Концентрация для всех нейтральных и ионных компонентов воздушной плазмы в термодинамической системе (68% N₂, 11% O₂, 0.83% Ar, 0.03% CO₂) при P=0,1Мпа, T=3000 - 35000К.

На основе полученных сечений столкновений и концентрационных компонентов воздуха, выполнены дальнейшие вычисления: теплофизических и транспортных свойств воздушной плазмы, которые показаны на рис. 5 - 8.

Молекулярный газ представляет собой сложную систему с уникальными свойствами. Здесь различие температур электронов, атомов и молекул, определяющее скорости протекания реакций ассоциативной ионизации, диссоциативной рекомбинации, перезарядки, может привести к существенному отклонению от равновесных значений концентраций частиц. Анализ теплофизических свойств плазмообразующего газа позволяет получить сведения о характере протекания различных процессов в электрической дуге при высоких температурах. На рисунках 7 и 8 можно увидеть

определенные области температуры, где энтальпия и теплоемкость резко меняются и области температуры, где эти свойства выравниваются. Стремительные изменения обусловлены процессами диссоциации молекул и ионизации атомов. Эффекты диссоциации и ионизации еще более резко отражаются на изменениях теплоемкости различных компонентов воздушной смеси (рис.9). Большие горбы в этих случаях соответствуют быстрым изменениям энтальпии, когда процессы диссоциации и ионизация которые происходят сильно, лавинообразно. Первый горб соответствует диссоциации молекулы O₂; второй горб соответствует диссоциации - N₂; третий горб соответствует ионизации атомов - O, N, C, Ar; четвертый горб соответствует образованию ионов N⁺ и O⁺, Ar⁺, C⁺, NO⁺.

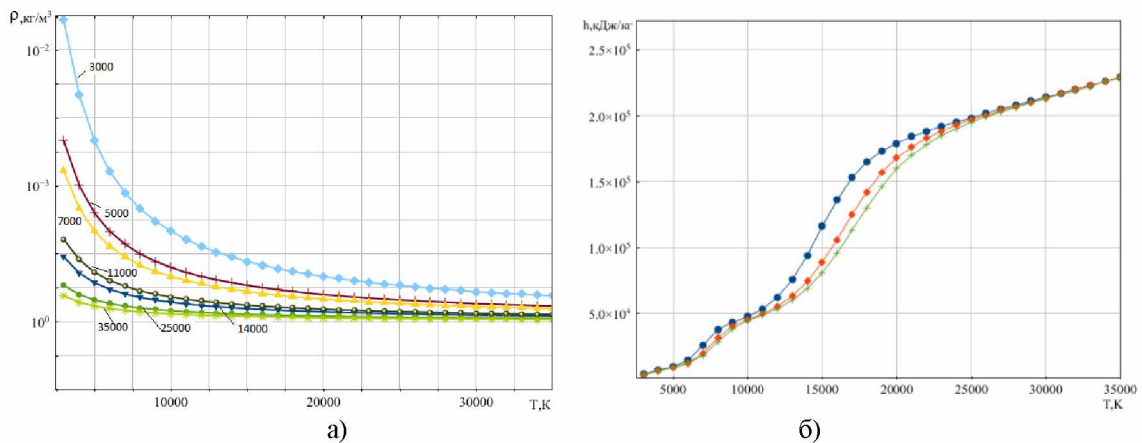
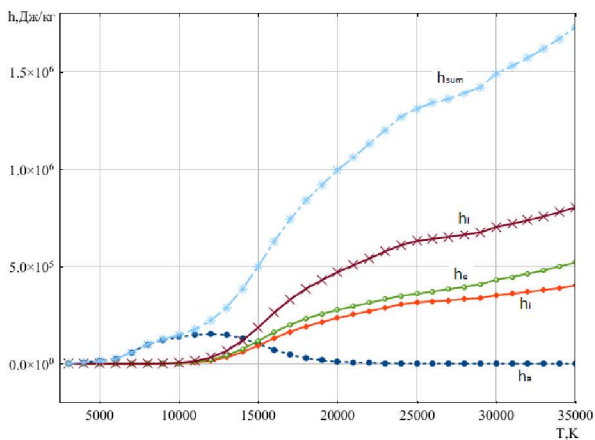
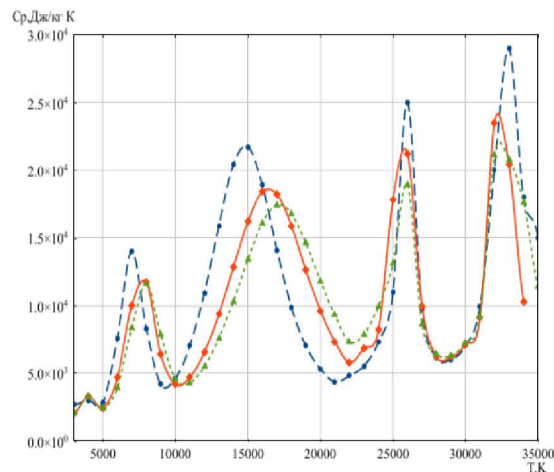


Рис.5. а) Плотность воздушно-дуговой плазмы атмосферного давления б) Энтальпия воздушной плазмы при давлениях 0,1МПа, 0,4МПа, 0,7МПа.



а)



б)

Рис.6. а) Составляющие энтальпии компонентов воздушной плазмы; б) Теплоемкость воздушной плазмы при давлениях 0,1МПа, 0,4МПа, 0,7МПа.

Таким образом, выполнено исследование равновесного состава воздушной плазмы как смеси различных веществ, и влияния состава воздушной смеси на теплофизические свойства дуговой плазмы в температурном интервале от 300К до 35000К, при давлениях от 0,1МПа до 0,7МПа. Проведены вычисления теплофизических и транспортных свойств воздушной плазмы в рассматриваемом интервале температур и при различных давлениях. Выполнен анализ влияния состава воздушной смеси на изменение тепловой эффективности дуговой плазмы. Полученные данные дают возможность проведения и более сложных исследований характеристик воздушно-дуговой плазмы.

Литература:

1. Эсиян Э.М. Воздушно-плазменная резка: состояние и перспективы //Автоматическая сварка, № 12, 2000. -С. 6-16.
2. Физика и техника низкотемпературной плазмы. М.,Атомиздат,1972.(Дресвин С.В., Донской А.В., Гольдфарб В.М., Клубникин В.С.), 352с.

3. Теория столба электрической дуги / В.С.Энгельшт, В.Ц. Гурович, Г.А. Десятков и др. – Новосибирск: Наука. Сиб.отд, 1990.-376 с – (Низкотемпературная плазма. Т.1).
4. Математическое моделирование электрической дуги /Под ред. В.С. Энгельшта – Фрунзе:, Илим, 1983. – 363с.
5. Варгафтик Н.Б.Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М.: Физматгиз, 1963. -708 с.
6. С.Н.Казейкин Расчет термодинамических и переносных свойств высокотемпературного воздуха. / Препринт Ин-т проблем механики АН СССР №108, 1978.
7. D'Angola, G. Colonna, C. Gorse and M. Capitelli Thermodynamic and transport properties in equilibrium air plasmas in a wide pressure and temperature range. Eur. Phys. J. D 46, 129–150(2008) .
8. Ватолин Н. А., МоисеевГ. К. ТрусовБ. Г. Термодинамическое моделирование в высокотемпературных неорганических системах (БДАСТРА.BAS). М.: Металлургия. 1994. 356 с.