

УДК 537.523: 533.924

С.А.Михальченко (4 курс, каф. ЭиЭ), Д.В.Иванов (асп. каф. ЭиЭ),
С.В.Дресвин, д.т.н., проф.

РАСЧЕТ СОСТАВА И СВОЙСТВ РАВНОВЕСНОЙ ЦЕЗИЕВО-ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ

При использовании плазмы в различных технологических процессах одним из параметров, путем изменения которого можно добиться оптимального режима технологического процесса, является род плазмообразующего газа. Плазмообразующий газ может быть охарактеризован своими термодинамическими (плотность ρ , энтальпия H , теплоемкость c_p) и транспортными (электропроводность σ , теплопроводность λ , вязкость μ) свойствами. Очень важно подобрать такой плазмообразующий газ (или смесь газов), который бы обладал необходимыми для данного технологического процесса свойствами.

В качестве примера рассмотрим процесс сфероидизации мелких тугоплавких частиц в ВЧИ-плазме. Хорошо известно, что сфероидизация частиц в воздушной плазме происходит намного качественнее, чем в аргоновой плазме (при равенстве всех остальных параметров процесса: мощности, расхода газа и порошка и др.). Это объясняется тем, что энтальпия H (иначе говоря, энергозапас) воздушной плазмы больше, чем энтальпия H аргоновой плазмы, т. е. энергии, которая запасается в аргоновой плазме, не хватает для качественной сфероидизации порошка [1].

Представляется, что среди большого числа вышеперечисленных свойств плазмы можно выделить два “главных” свойства: энтальпию H и электропроводность σ . Энтальпия H плазмы – это свойство, которое характеризует способность плазмы запасать в себе энергию, а следовательно, это свойство характеризует количество энергии, которое плазма может передать обрабатываемому материалу (частицам, поверхности и т. д.). Электропроводность σ — это свойство, которое характеризует возможность образования разряда в рассматриваемом газе, т. е. возможность передачи энергии в газ (плазму). При этом электропроводность газа связана с его потенциалом ионизации: чем меньше потенциал ионизации, тем больше электропроводность при данной температуре. В этой связи представляет интерес рассмотрение такой смеси газов, в которой одним веществом обеспечивалась бы высокая энтальпия, а другим веществом — высокая электропроводность.

Водород — это одно из веществ с высокой энтальпией. Цезий — это одно из веществ с низким потенциалом ионизации: $E_{Cs}=3.893$ эВ (для сравнения, потенциал ионизации водорода $E_H=13.595$ эВ) [2]. Рассмотрим свойства цезиево-водородной плазмы. При этом необходимо подчеркнуть, что смесь цезия и водорода является одним из вариантов предложенной смеси; результаты, полученные для рассматриваемой смеси, могут качественно описывать свойства других подобных смесей.

Определение состава плазмы является основой для расчета свойств плазмы. В расчете предполагалось, что цезиево-водородная плазма состоит из 11 компонентов: e , H , H^+ , H^- , H_2 , H_2^+ , H_3^+ , Cs , Cs^+ , Cs_2 , CsH . С помощью метода Ньютона для приращения логарифмов неизвестных [3] были рассчитаны пять вариантов: чистый H , $Cs:H=0.01$; $Cs:H=0.1$; $Cs:H=1$; чистый Cs . Данные о константах равновесия реакций были взяты из справочника [4].

При известном составе плазмы легко может быть найдена ее энтальпия:

$$H = \frac{\sum_i n_i H_i}{\sum_i \mu_i n_i}, \quad (1)$$

где H [Дж/кг] - энтальпия плазмы, n_i [м⁻³] - концентрация i -ой компоненты плазмы, H_i [Дж/моль] - энтальпия i -ой компоненты плазмы, μ_i [кг/моль] - молярная масса i -ой компоненты плазмы.

Расчет электропроводности σ плазмы связан с большими трудностями. Однако о величине электропроводности можно судить по степени ионизации η плазмы (степень ионизации показывает относительную концентрацию заряженных частиц в плазме, а чем больше концентрация заряженных частиц (и, следовательно, степень ионизации), тем больше должна быть электропроводность плазмы), которая может быть найдена по простой формуле:

$$\eta = \frac{\sum_j n_j^+}{\sum_i n_i}, \quad (2)$$

где $\sum_j n_j^+$ - сумма концентраций заряженных частиц, $\sum_i n_i$ - сумма концентраций всех частиц, составляющих плазму.

Расчеты энтальпии и степени ионизации были проведены для тех же вариантов, для которых был рассчитан состав плазмы. Результаты расчетов показаны на рис. 1.

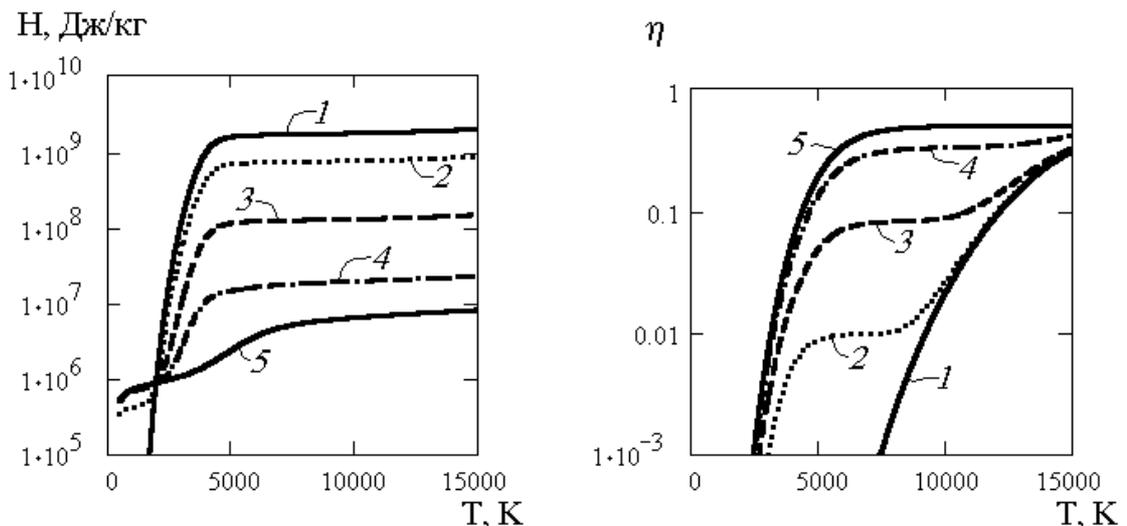


Рис. 1. Зависимости энтальпии H (слева) и степени ионизации η (справа) от температуры T для плазмы различного состава: 1 - чистый H ; 2 - $Cs:H=0.01$; 3 - $Cs:H=0.1$; 4 - $Cs:H=1$; 5 - чистый Cs

Выводы. Анализ результатов показывает, что состав цезиево-водородной плазмы, при котором примесь цезия составляет порядка 1 % от водорода, является оптимальным, т. к. энтальпия такой плазмы уменьшается по сравнению с водородной плазмой незначительно, а степень ионизации на 1...2 порядка превышает степень ионизации водородной плазмы. В дальнейшем необходимо провести расчеты режима работы плазмотрона, работающего с таким плазмообразующим газом. Также необходима экспериментальная проверка полученных результатов и изучение влияния примеси металла (Cs) на физико-химические свойства обрабатываемых материалов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Физика и техника низкотемпературной плазмы / Под ред. С.В.Дресвина. М.: Атомиздат, 1972.

2. Таблицы физических величин: Справочник / Под ред. акад. И.К.Кикоина. М.: Атомиздат, 1976.
3. Сурис А.Л. Термодинамика высокотемпературных процессов. Справ. изд. М.: Металлургия, 1985.
4. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Т. 1 и 2 / Под ред. В.П.Глушко. М.: Изд-во АН СССР, 1962.