

УДК 62-91

Исследование и расчет гибридного атмосферного плазмотрона для напыления порошковых покрытий

Нелюбова О.А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Плазменные энергетические установки и электроракетные двигатели»*

Научный руководитель: Ляпин А.А., к.т.н, доцент

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

bauman@bmstu.ru

Введение

В настоящее время актуальной является задача повышения физико-механических и эксплуатационных свойств материалов, что может быть достигнуто путем нанесения покрытий с заданными свойствами на изделия. Одним из перспективных методов нанесения покрытий является процесс плазменного напыления, способный получать покрытия широкого диапазона материалов с требуемыми защитными, газодиффузионными и другими характеристиками.

Получаемые свойства покрытий во многом зависят от выбранного материала для напыления. Из всего спектра доступных материалов особой интерес представляют собой керамические порошковые материалы, такие как Al_2O_3 , ZrO_2 , TiO_2 и др., обладающие низкой электропроводностью и теплопроводностью и значительной механической прочностью при высоких температурах. Разработанная плазменная установка специализирована на напылении керамических порошковых покрытий.

Целью данной работы является изучение особенностей эксплуатации установки для выявления оптимальных режимов работы, а также выбор наиболее подходящих методов расчета для прогнозирования поведения плазмотрона на новых режимах, что обеспечивает получение заданных свойств покрытий.

Экспериментальный стенд

Использовался экспериментальный стенд, включающий в себя плазмотрон, систему подачи рабочего вещества, систему водяного охлаждения катодного и анодного узлов, стандартную систему электропитания на базе источника АПР-402 и систему подачи

порошкового материала. В качестве измерительных приборов использовались стрелочные и цифровые амперметры и вольтметры. Расход рабочего газа измерялся с помощью расходомеров РРГ-7-3600 и РРГ-7-9000. Калориметрирование тепловых потоков осуществлялось теплосчетчиками ASWEGA SA-94/3.

Был спроектирован и изготовлен двухкамерный гибридный плазмотрон, состоящий из плазмотрона П2-400ВА (фирмы ПУРМ), в качестве катодного узла, и оригинального анодного узла, соединенных специальным переходником. Для стабилизации дуги использован анод с уступом. Ввод рабочего вещества осуществлялся тангенциально через катодный узел и переходник, соединяющие электродные узлы плазмотрона (Рис.1).

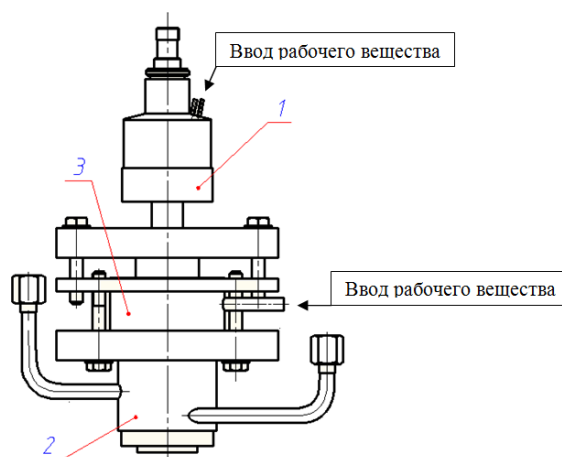


Рис. 1. Общий вид плазмотрона:

1 – Катодный узел (плазмотрон П2-400ВА); 2 – Анодный узел; 3 – Переходник

Основные параметры работы:

Рабочий газ – воздух.

Диапазон мощностей: 20..40 кВт.

Суммарный расход рабочего вещества: 1,4.. 2,9 г/с.

Давление – 10^5 Па.

Эксперимент

Эксперименты проходили на описанном стенде в стационарном режиме при калориметрировании охлаждающей воды при неизменном расходе рабочего вещества. Определение вольт-амперных и вольт-расходных характеристик плазмотрона проводилось при изменении тока в диапазоне 110...230 А в диапазоне расхода рабочего вещества $G = 1,4...2,9$ г/с.

Вольт-амперные характеристики для узкого диапазона расхода воздуха и нагрузочные характеристики приведены на рис. 2.

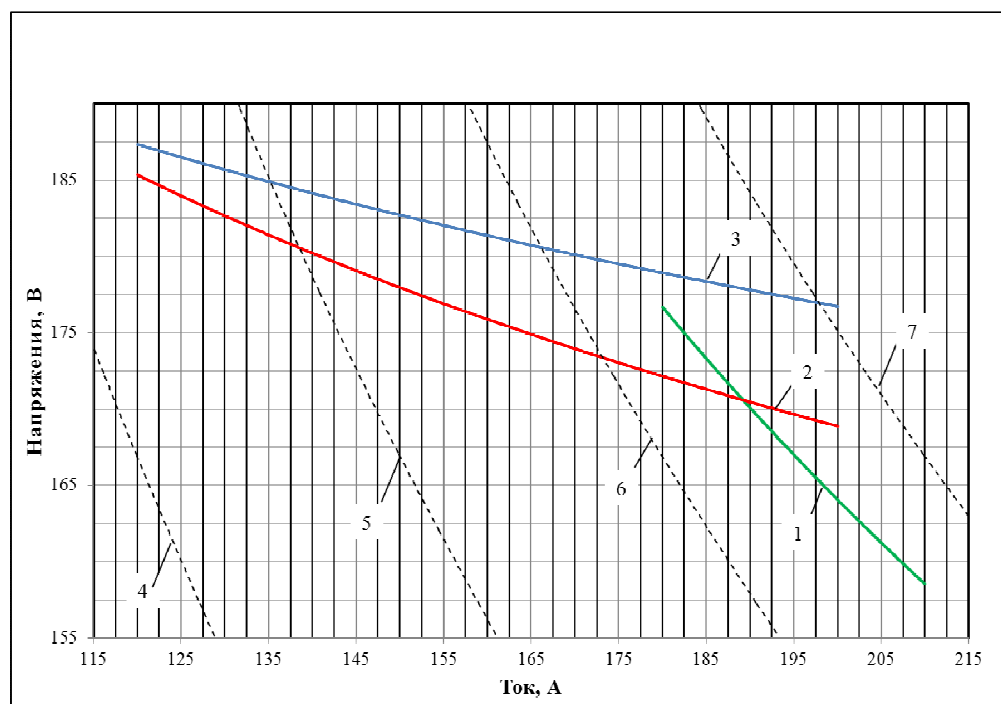


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики плазмотрона (1...3) и нагрузочные характеристики (4...7):

1 — расход воздуха $G = 1,44$ г/с; 2 — расход воздуха $G = 1,51...1,53$ г/с; 3 — расход воздуха $G = 1,58...1,67$ г/с; 4 — нагрузочная характеристика при мощности $P = 20$ кВт;
 5 — при мощности $P = 25$ кВт; 6 — при мощности $P = 30$ кВт;
 7 — при мощности $P = 35$ кВт

На рис. 2 видно, что вольт-амперные характеристики падающие, что хорошо соотносится с теоретическим описанием плазмотронов данного типа. ВАХ 2 и 3 рис. 2 получены при тангенциальной подаче рабочего вещества в катодном узле и переходнике в одном направлении (по часовой стрелке), ВАХ 1 получена при подаче газа в противоположных направлениях (в переходнике – против часовой стрелки) для получения осевого потока газа на выходе из сопла. ВАХ 1 является более крутопадающей, что указывает на менее стабилизированный режим работы плазмотрона.

На рис. 3 приведены зависимости напряжения от расхода рабочего вещества при различных величинах тока разряда.

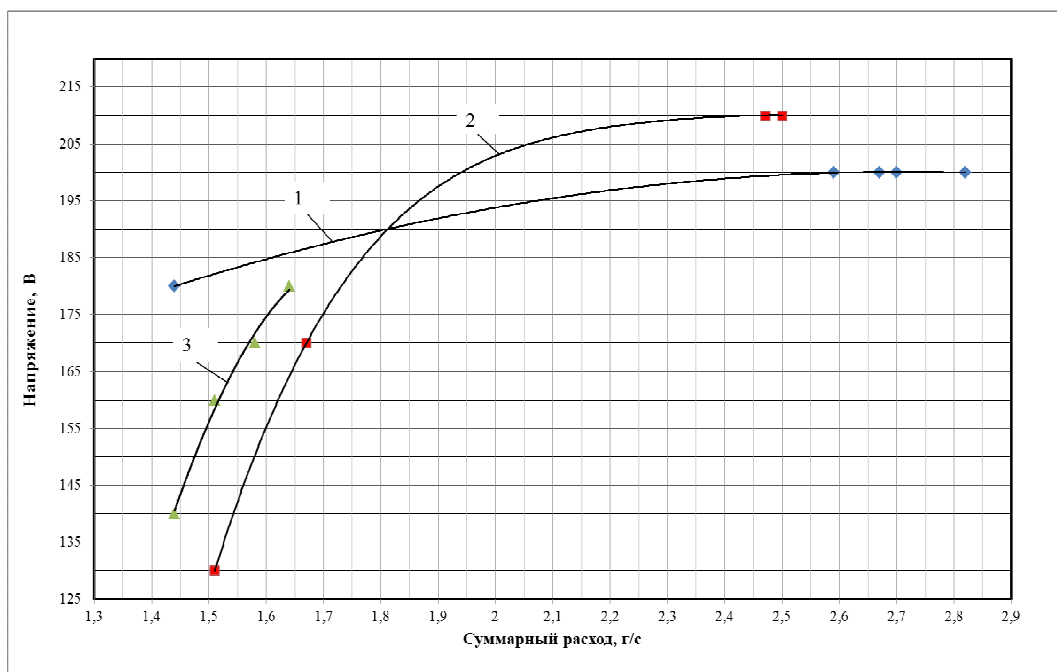


Рис. 3. Экспериментальная зависимость расхода рабочего вещества от напряжения:
1 — Ток разряда 180; 2 — 185...190; 3 — 200 А

На рис. 3 видно, что характеристики 1 и 2 стремятся к постоянным значениям напряжения 200 В и 210 В соответственно при расходе 2,4 г/с, что объясняется газодинамическим запирающим потоком при данных условиях эксплуатации.

При дальнейшей обработке полученных экспериментальных данных были рассчитаны тепловой коэффициент полезного действия и среднемассовая температура струи плазмотрона с использованием различных эмпирико-расчетных зависимостей. Расчет теплового коэффициента полезного действия осуществлялся по методике расчета плазмотронов с использованием эмпирических зависимостей [1, с. 106] и по методике, предложенной в [2].

Полученные зависимости для теплового коэффициента полезного действия и среднемассовой температуры струи изображены на рис. 4.

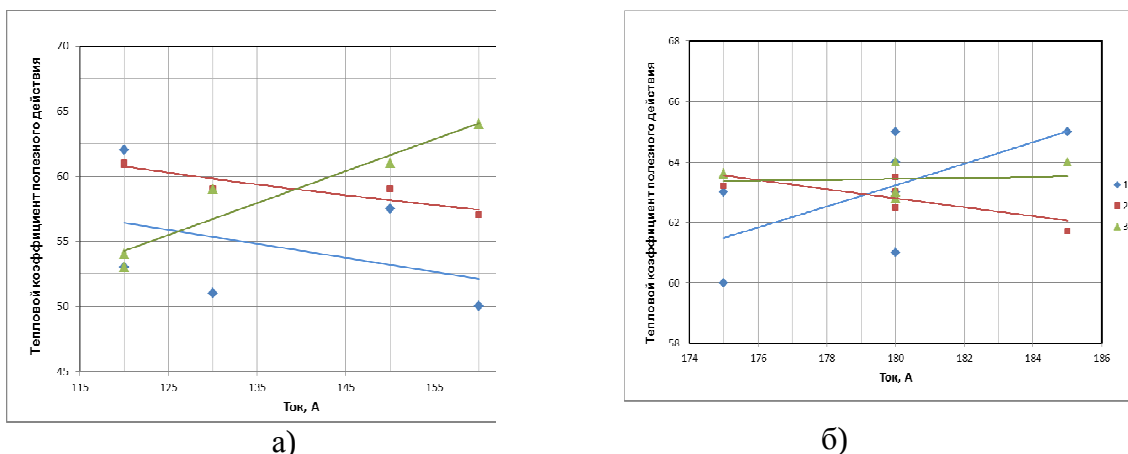


Рис. 4. Сравнение зависимости КПД от тока при разном диапазоне напряжений при различных методиках расчета:

а — тепловое КПД при $U = 170 - 200$ В; б — тепловое КПД при $U = 200 - 220$ В;

1 — значения, рассчитанные из экспериментальных данных; 2 — значения, полученные с использованием эмпирических зависимостей [1, с. 106]; 3 — расчет по методике [2]

Среднемассовая температура рассчитывалась по методике [2] и с использованием экстраполяционной зависимости, повторяющей поведение показаний энтальпии для воздуха, взятых из справочника [3, с. 602]. Экстраполяция была проведена с использованием встроенных функций расчетной программы MathCAD 12, полученный полином имеет вид:

$$h(t) = 2.9 \cdot 10^3 - 2.4 \cdot t + 1.2 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 9.2 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 + 4.3 \cdot 10^{-13} \cdot t^4$$

График, показывающий связь между справочными значениями и экстраполяционным полиномом, представлен на рис. 5.

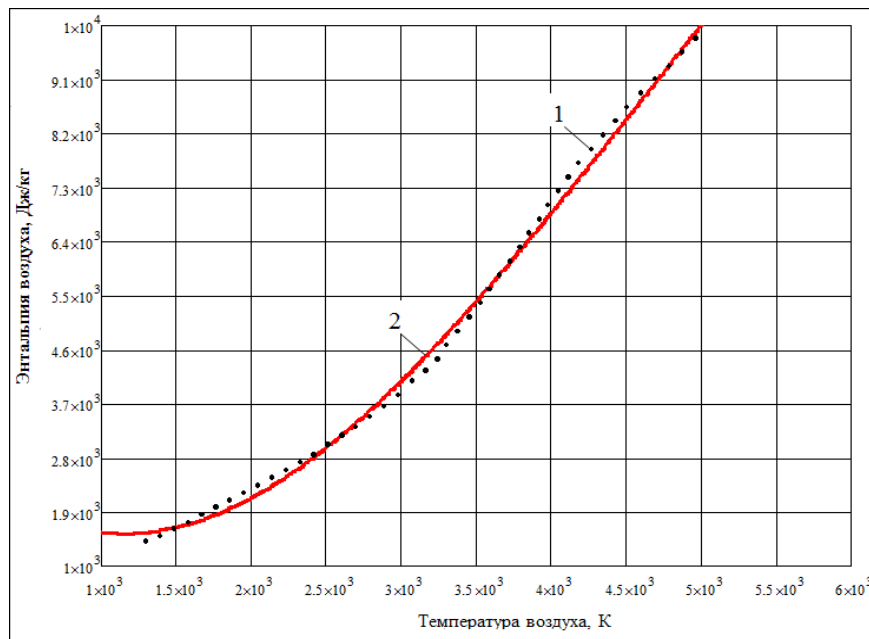
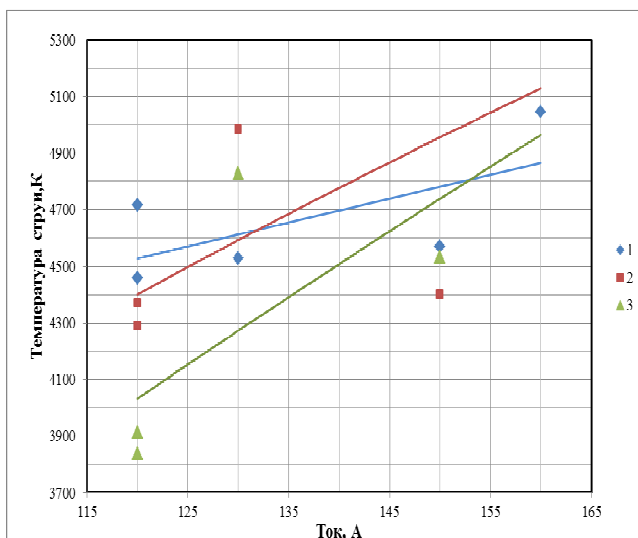


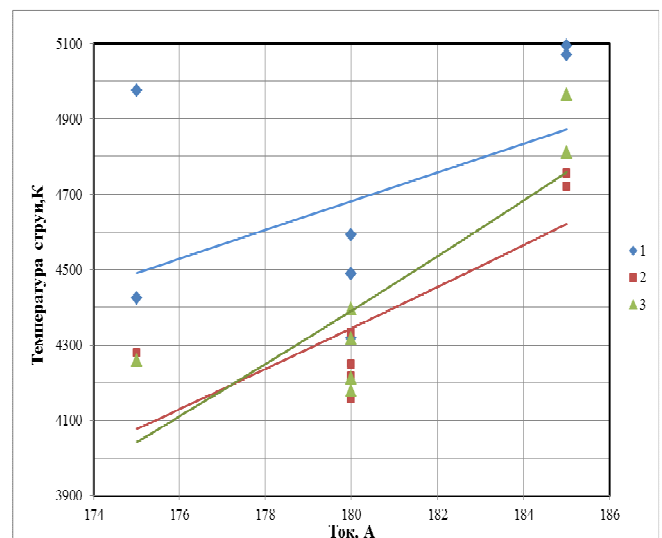
Рис. 5. Связь между справочными значениями и экстраполяционным полиномом:

1 — значения по справочнику [3, с. 602]; 2 — экстраполяционный полином 4 степени

Зависимости для среднemasовой температуры струи плазмотрона при различных методиках расчета представлены на рис. 6



а)



б)

Рис. 6. Зависимость температуры струи от тока разряда при различном расходе рабочего вещества для различных методик расчета:

а — при суммарном расходе рабочего вещества $G = 1,5 - 1,7$ г/с; б—при суммарном расходе рабочего вещества $G = 2,5 - 2,8$ г/с;

1 — значения, рассчитанные из экспериментальных данных; 2 — значения, полученные с использованием эмпирических зависимостей [1, с. 106]; 3 — расчет по методике [2]

На рис. 6 видно, что полученные в ходе расчетов зависимости имеют такой же характер, что и экспериментальные характеристики для среднemasсовой температуры струи, что подтверждает допустимость использования данных методик расчета для описания работы плазмотрона.

Сравнение различных методик расчета теплового коэффициента полезного действия и среднemasсовой температуры показало отличие между экспериментальными и эмпирическими параметрами в 6 % и 10 % максимум и между экспериментальными и расчетными параметрами в 13% и 8% для теплового КПД и среднemasсовой температуры соответственно. Таким образом, можно сделать вывод о том, что для определения теплового коэффициента полезного действия с меньшей погрешностью наиболее приемлемо использовать эмпирическую методику расчета [1]. При сравнении результатов расчета для среднemasсовой температуры струи большее соответствие результатов показала методика, предложенная в [2]. Однако допустимо использовать и эмпирическую методику расчета [1] для расчета температуры, в связи с ее незначительным отличием по сравнению с расчетом [2].

Заключение

Был разработан, изготовлен, адаптирован на экспериментальном стенде и отработан гибридный атмосферный плазмотрон для плазменного напыления на основе порошковых материалов, состоящий из катодного узла - плазмотрона П2-400ВА ПУРМ, и оригинального анодного узла, соединенный специальным переходником.

В ходе работы было проведено исследование поведения характеристик плазмотрона. Были получены основные характеристики – падающие вольт-амперные зависимости и вольт-расходные зависимости, выходящие на режим насыщения, обусловленный газодинамикой процесса.

Был проведен расчет тепловых характеристик плазмотрона. Сравнение различных методик расчета дало возможность сделать вывод о том, что для определения теплового коэффициента полезного действия с меньшей погрешностью более приемлемо использовать эмпирическую методику расчета [1, с. 106]. Для расчета среднemasсовой температуры струи большее соответствие результатам эксперимента показывает методика, предложенная в [2]. Однако допустимо использовать и эмпирическую методику расчета [1], в связи с ее незначительным отличием по сравнению с расчетом [2].

Список литературы

1. Жуков М.Ф. Основы расчета плазмотронов линейной схемы. Новосибирск: Энергохиммаш, 1979. 179 с.
2. Клименко Г.К., Ляпин А.А. Методические указания к курсовому проекту «Генераторы плазмы». М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010. 62с.
3. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972. 721 с.
4. Клименко Г. К., Ляпин А. А. Конструкции электродуговых плазмотронов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010. 55 с.
5. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1992. 536 с.
6. Протасов Ю.С. , Чувашев С.Н. Основы плазменной электроники. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. 631 с.
7. Кудинов В.В. Плазменные покрытия. М.: Наука, 1977. 184 с.
8. Цырлин М.И., Родченко Д.А. Концепция комплексного моделирования процесса плазменного напыления покрытий на основе порошковых полимерных материалов // Научно-техническая конференция «Новые технологии в машиностроении и вычислительной технике»: труды. Брест: Брестский политехн. ин-т, 1998.С. 73-76.