

УДК 50.43.15

А.М. Жукешов, А.Т. Габдуллина*, А.У. Амренова,
Т. Сундетов, А. Кайбар, К. Фермахан

НИИ экспериментальной и теоретической физики
КазНУ им. аль-Фараби, Республика Казахстан, г. Алматы
*E-mail: a_gabdullina@mail.ru

Создание вакуумной дуговой установки с автоматизированной системой управления

В статье приведены результаты разработки вакуумно-плазменной технологической установки с автоматизированной системой. В предыдущие годы авторами были созданы различные вакуумные установки, разработаны уникальные технологии импульсного вакуумно-дугового напыления и плазменной обработки. Эти технологии были апробированы и показали высокую эффективность для упрочнения материалов и создания покрытий. Однако для внедрения в производство данных технологий необходимо создать готовую продукцию в виде технологической установки, оснащенной автоматизированной системой управления. Особенности предлагаемой разработки являются: автоматизированный блок управления состоянием вакуума на основе активного датчика вакуума и микроконтроллера, совместимый с промышленным оборудованием для вакуумных систем. На данный момент в Казахстане автоматизированные вакуумные технологические установки не производятся, а стоимость зарубежного оборудования достигает до миллиона долларов. Разработанная интеллектуальная система предназначена для создания высокотехнологичных вакуумных установок в наукоемких технологиях в области наноматериалов, машиностроения, энергетики и получения продуктов с высокой добавленной стоимостью. В отличие от интегрированных зарубежных решений, данная система будет модульной, что позволит снизить стоимость, повысить надежность и упростить обслуживание системы.

Ключевые слова: автоматизированная система, робот, микроконтроллер, вакуумная дуга, плазменная технология.

A.M. Zhukeshov, A.U. Amrenova, A.T. Gabdullina, T. Sundetov, A. Kaibar, K. Fermakhan
To develop of automated vacuum ark unit

The article discusses the results of vacuum ark plasma unit work and research. In previous years, the authors have created various vacuum systems, developed a unique technology of pulsed vacuum arc deposition and plasma treatment. These technologies have been tested and have shown high efficiency for hardening of materials and obtaining coatings. However, for implementation in the industry of these technologies need to create a finished product in the form of a technological installation, equipped with an automated control system. The task of creating such system is closely connected with the peculiarities of obtaining and supporting a high vacuum, which requires developers to make an informed choice of the necessary technical solutions. Features of the proposed development are: Intelligent unit for vacuum control on the basis of the active vacuum gauge and microcomputer compatible with industrial equipment for vacuum systems.

Key words: automated systems, microcontroller, vacuum ark, plasma technology.

Ә.М. Жүкешов, А.У. Амренова, А.Т. Габдуллина, Т. Сундетов, А. Қайбар, К. Фермахан
Автоматтандырылған вакуумдық доғалы қондырғыны жасау

Мақалада автоматтандырылған вакуумды-плазмалық технологиялық құрылғыны жасау мәселесі талқыланады. Алдыңғы өткен жылда ғалым ұжымымен әртүрлі вакуумды құрылғылар өңделді, ерекше импульсті-вакуумдық-доғалық тозаңдандыру және плазмалық өңдеу технологиялары жасалынды. Бұл технологияларды материалдарды орнықтандыру және бетіне жабылған қабат алу са-

ласына енгізіліп озінің өте жоғары тиімділігін корсетті. Бірақ бұл технологияларды өндіріске енгізу үшін автоматты басқару жүйесі мен қамтамасыз етілген дайын өнім ретінде жасау қажетті. Ұсынылып отырған жұмыстың ерекшелігі интеллектуалды басқару блогы кез келген вакуумды құрылғыға орнатуға мүмкіндік береді, өндірістегі микроконтроллерді қолданып жасалынды.

Түйін сөздер: автоматтандырылған жүйе, микроконтроллер, вакуумдық доға, плазмалық технология.

Введение

Одним из актуальных задач программы ФИИР страны является замещение импорта технологий путем разработки высокотехнологичных установок отечественного производства. Среди разнообразных методов вакуумно-плазменной модификации поверхности наиболее отработанными можно считать технологии магнетронной и дуговой обработки [1]. Однако они имеют ряд недостатков, таких, как малая площадь обработки, большой ток потребления, нагрев катодов и т.д. В последнее время в мире активно разрабатываются импульсные системы плазменной обработки, от которых ожидают более эффективных результатов [2]. Методика обработки основана на быстром энергетическом воздействии плазменных потоков на поверхностные слои материала [3]. При эрозии электрода, в определенном режиме работы установки, создается плазма соответствующего материалу электрода состава, что позволяет использовать этот процесс для напыления металла на различные материалы. Некоторые виды новых покрытий из композитных материалов (мультикатоды) невозможно получить другими способами [4]. Импульсные технологии, ввиду своих уникальных возможностей, позволяют создавать новые материалы с заданными свойствами и имеют

ощутимые преимущества по сравнению с другими методами [5].

Ранее авторами были созданы различные вакуумные установки, разработаны уникальные технологии импульсного вакуумно-дугового напыления и плазменной обработки. В 2019-2010 гг. была разработана технология создания новых материалов основе перспективного метода – импульсной плазменной обработки поверхности с применением потоков плазмы, получаемых на электродинамических ускорителях. Эти технологии апробированы и показали высокую эффективность для упрочнения материалов и создания покрытий [6-10].

Экспериментальная установка

В 2012- 2014 гг. в рамках проекта «Разработка систем управления и контроля для перспективных вакуумных технологических установок» была разработана вакуумная технологическая установка Вакуумный дуговой ускоритель (ВДУ) и проведены предварительные работы по ее автоматизации (рисунок 1). На этом этапе работ были установлены основные закономерности использования микроконтроллеров в вакуумных системах [6]. С учетом этих требований была создана схема управления вакуумным дуговым ускорителем.



Рисунок 1 – Вакуумная импульсная дуговая установка

Данная установка предназначена для получения покрытий из тугоплавких материалов методом дугового распыления, а также для экспериментов по разработке дуальной технологии с применением импульсных потоков плазмы в качестве рабочего тела.

Картина формирования плазмы в импульсном дуговом разряде является ключом к пониманию технологических особенностей работы установки. Исследования с применением трансформаторов тока показали, что разрядный ток представляет собой асимметричный затухающий сигнал с полупериодом порядка 100 мкс и состоит из двух колебаний разной полярности. Такие же сигналы аperiодической формы с затуханием наблюдали в импульсном коаксиальном ускорителе (далее коаксиал) КПУ-30. Таким образом, принципиально работа импульсного дугового ускорителя не отличается от работы классического коаксиала, так как в обоих случаях имеется коаксиальный анод и катод. Однако если в коаксиале с длинным электродом плазма разгоняется по длине электрода, то в случае ВДУ она контрагируется на поверхности катода и выбрасывается в межэлектродное прост-

ранство за счет собственного магнитного поля. В этом смысле механизм ускорения плазмы в этих ускорителях один и тот же – это электродинамическая сила. Так же, как и в коаксиале, в ВДУ плазма формируется как поток с радиально симметричным распределением тока, т.е., по существу, представляет собой фонтанирующий пинч. Исследования показали, что в дуговом ускорителе наблюдается небольшая амплитуда второго полупериода тока, а в коаксиале наблюдался ряд гармонических колебаний тока с постепенным затуханием. По-видимому, различие связано с тем, что небольшая амплитуда напряжения в ускорителе ВДУ резко ограничивает ток при обратной полярности на конденсаторах. Кроме этого, очевидно, что в ВДУ энергия поджига выделяется в первом полупериоде колебания тока, поэтому на втором полупериоде формирование плазмы затруднено.

Далее были проведены измерения плотности потока плазмы в межэлектродном пространстве с использованием калориметрии. Результаты измерения распределения плотности энергии потока плазмы по поперечному сечению ускорителя приведены на рисунке 2.

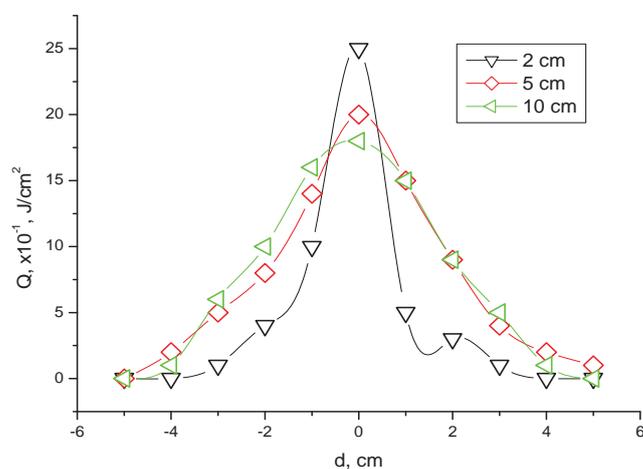


Рисунок 2 – Распределение плотности потока по поперечному сечению ускорителя

Видно, что с удалением от оси системы плотность энергии резко падает. На основании измерений плотности потока плазмы, учитывая геометрию электродной системы, можно объяснить схему формирования плазменного потока в ускорителе ВДУ: вышедшие с катода электро-

ны двигаются по криволинейным траекториям к направлению анода, однако, дрейф под действием магнитного поля приводит к выносу линий тока за пределы анода. В то же время ионы, эмиттированные с катода, а также образованные в результате объемной ионизации газа, вытяги-

ваются электрическим полем, образованным в результате образования области пространственного заряда.

В проведенных экспериментах определена вольт-амперная характеристика ВДУ, т.е. пока-

зания тока анода в зависимости от напряжения на аноде.

Серия зависимостей получена при различной частоте следования импульсов. Данные приведены на рисунке 3.

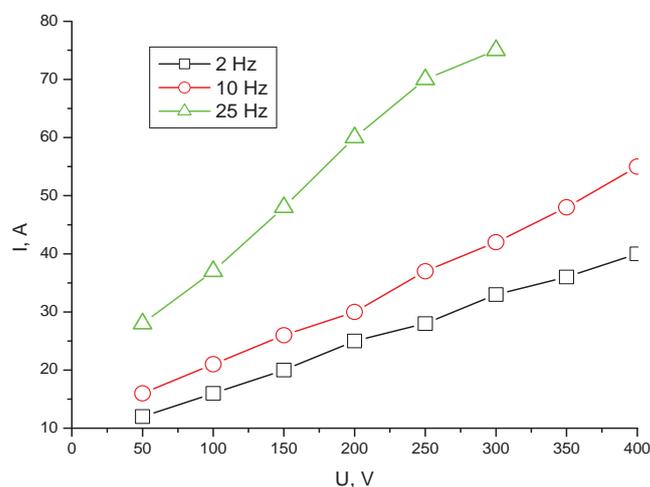


Рисунок 3 – Зависимость амплитуды разрядного тока от напряжения

Измерение проводилось при в интервале напряжения 50 – 400 В, при емкости анодного накопителя 500 МкФ. Испытания показали устойчивую работу ВДУ при напряжении на аноде выше 50 В и при достижении вакуума $2 \cdot 10^{-3}$ мм.рт.ст. Была испытана работа ВДУ при частотах

2, 10 и 25 Гц, при частоте 50 Гц достигалось насыщение.

После отработки технологии, с учетом особенностей различных процессов, предложена следующая схема автоматизации установки ВДУ (рисунок 4).

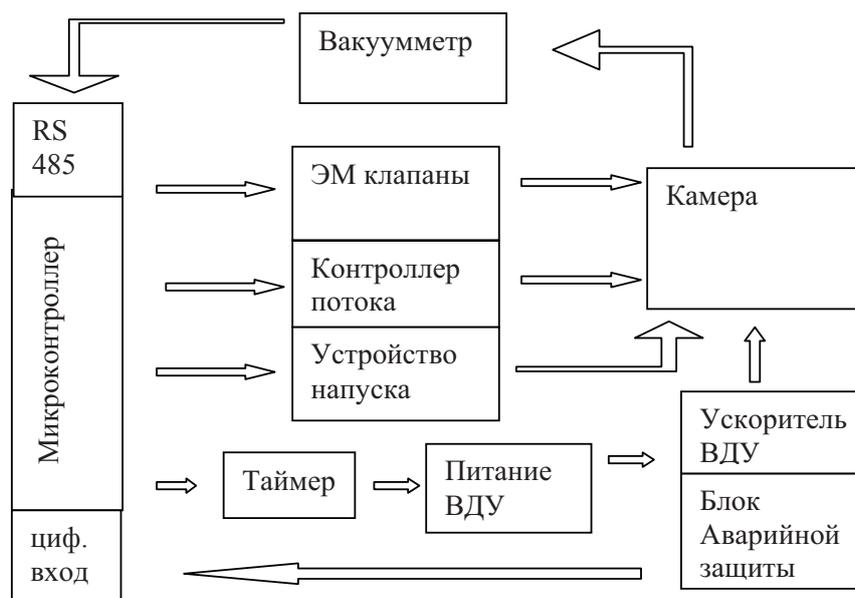


Рисунок 4 – Блок-схема АСУ ВДУ

В данной схеме микроконтроллер получает аналоговый сигнал от датчика вакуума, вычисляет уровень вакуума и начинает процесс откачки, подавая цифровой код на исполнительные механизмы – клапаны, контроллер потока или устройство напуска. После достижения уровня вакуума включается таймер технологического процесса и подается питание на ускоритель ВДУ. При наступлении аварийной ситуации по цифровому входу МК подается сигнал на отключение установки.

Рассмотрим принципиальную схему блока управления исполнительными механизмами (ЭМ клапаны, вакуумные насосы, натекатели), которая показана на рисунке 4. Для согласования выходов микроконтроллера с исполнительными механизмами были выбраны электромагнитные реле РЭС -22. Данные реле срабатывают от напряжения 20-24 В и питаются через эмиттерные повторители выходных транзисторов цифровых портов микроконтроллера напрямую, что улучшает совместимость. В свою очередь, микроконтроллер через адаптер Bluetooth соединен с планшетом. Управление в режиме ручного проводится по мнемоническому меню на экране планшета. Далее была проведена работа по автоматизации показаний давления с вакуумметра. Аналоговый сигнал с датчика вакуума напряжением 0÷10 В подавался на вход

АЦП микроконтроллера, затем проводилась программная линеаризация данных по формуле, приведенной в инструкции датчика. В результате, на экране планшета отображается текущее значение давления в вакуумной камере в десятичной степени.

Заключение

Таким образом, по работе вакуумной дуговой установки можно сделать следующие выводы: разрядный ток вакуумного дугового ускорителя представляет собой двойной импульс тока с резким максимумом в первом полупериоде длительностью порядка 100 мкс, и вторым пологим максимумом, что объясняется особенностью работы ВДУ с поджигом; плазма распространяется по веерообразной траектории от центрального электрода, а максимальная плотность энергии сосредоточена по оси системы и имеет гауссов профиль.

При этом диаметр экспонируемого образца не должен превышать половины диаметра анода для эффективного использования энергии плазмы. Испытания показали устойчивую работу ВДУ при напряжении на аноде выше 50 В и с рабочими токами 50-70 А при достижении вакуума $2 \cdot 10^{-3}$ мм.рт.ст. Однако работа ВДУ при частотах более 50 Гц нежелательна ввиду резкого повышения тока.

References

- 1 Lieberman M.A., Lichtenberg A.G. Principles of plasma discharges and materials processing // John Wiley & Sons Inc., New York. – 1994. - 450 p.
- 2 Piekoszewski J e.a. Present status and future of pulsed plasma processing of materials in SINS // Nucleonica. – 2000. - 45 (3). – С.193-197.
- 3 Tereshin V.I. et al. Pulsed plasma accelerators of different gas ions for surface modification. // Rev. Sci. Instrum. – 2002. -V.73. - №2. - P.1- 3.
- 4 Yan P. X., Yang S. Z., Li B. and Chen X. S.High power density pulsed plasma eposition of titanium carbonitride. // J. Vac. Sci. Technol. A 1996 Volume 14, Issue 1, pp. 115-117.
- 5 Chebotarev V.V., Garkusha I.E., Langner J. et al. Surface structure changes induced by pulsed plasma streams processing. Problems of atomic science and technology. //Series: Plasma physics. -1999. - №3(3). - P.273-275.
- 6 Жукешов А.М., Габдуллина А.Т., Пак С.П., Амренова А.У., Кайбар А., Кульжанова С.К. Принципы разработки вакуумных систем для плазменных приложений //Вестник КазНУ, № 1(40). - 2012. - С. 28-32
- 7 Zhukeshov A.M., Gabdullina A.T., Amrenova A.U., S.P. Pak. Structure and microhardness of steel sumples after pulse plasma flows processing // Materials Sciences and Applications: Scientific Research Publishing. - 2013. – №4.– P.35-41.
- 8 Жукешов А.М., Габдуллина А.Т., Амренова А.У., Пак С.П. Молдабеков Ж., Мухамедрыскызы М. К воздействию импульсной плазмы на поверхность нержавеющей стали // Известия НАН РК, серия физико-математическая. – 2013. – №2. – С. 71-74.
- 9 Zhukeshov A. M., Amrenova A. U., Gabdullina A. T. The improvement of stainless steel properties after pulse plasma processing //International Journal of Materials Science and Applications. - Vol. 3, No. 2. – 2013. - P. 115-119.
- 10 Zhukeshov A. M., Amrenova A.U., Gabdullina A.T., Ibraev B.M. A plasma Formation in Pulsed Coaxial Gun at Continuously Filling Regime // American Journal of Physics and Applications. – 2013. - Vol. 1, No. 1. - P. 5-9.