

УДК 533.9.07

**МАКЕТ ВАКУУМНОЙ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ
ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ВНУТРЕННИЕ СТЕНКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

К.А. Алкенова, С.Е. Ручкин, Д.А. Ашихмин

Научный руководитель: доцент, к.т.н., Д.В. Сиделёв

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: kaa18@tpu.ru

**MODEL OF VACUUM ION-PLASMA INSTALLATION FOR DEPOSITION OF
PROTECTIVE COATINGS ON INNER WALLS OF CYLINDRICAL PRODUCTS**

K.A. Alkenova, S.E. Ruchkin, D.A. Ashikhmin

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., PhD., D.V. Sidelev

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: kaa18@tpu.ru

***Abstract.** Cylindrical products are widely used in energy, chemical, oil and gas industries. Steel is usually applied as a based material due to suitable mechanical properties and cost. However, a surface of inner walls of cylindrical steel products are subject to corrosion in various aggressive environments. A one possible solution for this problem is applying protective coatings on the surface of inner walls of cylindrical products. As a result, a model of vacuum ion-plasma installation is constructed and tested to deposit protective coatings on inner walls of cylindrical products.*

Введение. Цилиндрическая арматура широко применяется в энергетике, химической, нефтегазовой промышленности. Для её производства обычно используют стали, которые обладают необходимыми механическими свойствами. Однако, внутренние стенки стальных цилиндрических изделий подвержены коррозии и эрозии в различных средах. По этой причине могут быть применены защитные покрытия на поверхности внутренних стенок цилиндрических изделий.

Например, исследование по нанесению алмазоподобных покрытий (DLC) на внутреннюю поверхность круглой металлической трубки методом плазмохимического осаждения из паровой фазы (CVD) показало, что данный метод может быть эффективен для производства труб с покрытиями в промышленном масштабе [1, 2]. Несмотря на то, что вышеописанный метод характеризуется высокой скоростью осаждения покрытий, он применим только для получения углеродных (DLC) покрытий [3-5]. Главным недостатком таких покрытий может быть высокая пористость, хрупкость, они защищают основной материал (сталь) от агрессивного воздействия только в определённых средах, из чего следует, что срок эксплуатации таких покрытий будет достаточно мал. Есть работы, где на внутренние стенки стальных и титановых трубок были нанесены плёнки нитрида титана и тантала методом ионно-лучевого распыления металлов в виде конических мишеней, которые двигались вдоль центральной оси труб [6]. Было определено, что коррозионная стойкость полученных плёнок в уксусной и азотной кислотах достаточно высока и метод катодного распыления обеспечивает эффективную защиту внутренних

поверхностей труб от коррозии. Таким образом, для получения защитных покрытий на внутренней поверхности труб ионно-плазменными методами требуется специальное вакуумное оборудование, позволяющее получать образцы для натурных испытаний материалов в агрессивных средах. Создание макета вакуумной установки по нанесению защитных покрытий на внутренние стенки цилиндрических изделий выполняется в Томском политехническом университете, чему и посвящена настоящая работа.

Экспериментальная часть. Макет ионно-плазменной вакуумной установки, предназначенный для получения защитных покрытий из различных материалов, состоит из вакуумной системы, обрабатываемой трубы, которая выполняет функцию разрядной камеры, катодного узла с вращающейся магнитной системой, системы подачи рабочего газа, систем охлаждения.

Вакуумная система состоит из форвакуумного пластинчато-роторного насоса (НВР-4,5Д, АО «Вакуумаш», Россия) и высоковакуумного диффузионного насоса (НВДМ-100, АО «Вакуумаш», Россия), средств измерения вакуума и напуска атмосферы.

В качестве камеры вакуумной установки выступает обрабатываемая труба, диаметром $\varnothing 108$ мм со стенкой 3 мм, на которую осаждается материал мишени катодного узла. Предполагается, что обрабатываемая труба фиксируется, используя стандартные вакуумные соединения, поэтому возможна её замена на трубную арматуру других типовых размеров.

Катодный узел представляет собой мишень в форме трубы, внутри которой располагается вращающаяся магнитная система в непрерывном потоке воды. Необходимость использования перечисленных элементов заключается в том, что создание магнитного поля позволяет удерживать электроны, которые ионизируют рабочий газ, необходимый для распыления материала мишени с целью последующего нанесения этого материала на поверхность трубы.

В настоящий момент в качестве рабочего газа выбран инертный (аргон), так как он позволяет получать покрытия на основе металлов. Ниже представлены данные о статусе разработки установки.

Результаты. Разработана принципиальная схема ионно-плазменной вакуумной установки, она представлена в виде 3D-модели на рисунке 1.

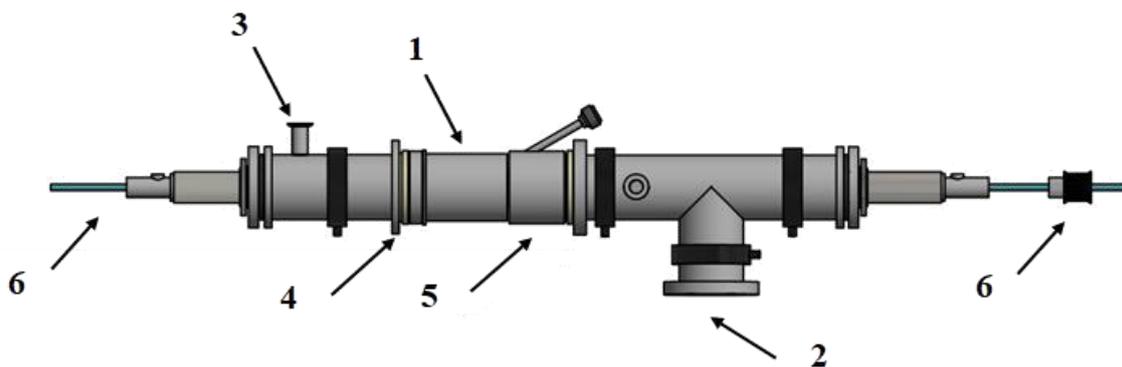


Рис 1. 3D модель вакуумной установки: 1 – обрабатываемая труба; 2 – фланец ISO-K 160 для линии откачки; 3 – система подачи рабочего газа; 4,5 – стандартные вакуумные соединения для фиксации обрабатываемой трубы (с изоляторами); 6 – катодный узел (состоящий из вращающейся магнитной системы, мишени в форме трубы и системы охлаждения)

Принципиально данная установка работает следующим образом. С использованием вакуумной линии откачки необходимо получить давление порядка 10^{-2} Па. После этого в камеру напускается рабочий газ, необходимый для формирования газового разряда вокруг трубного катода. Для удержания плазмы в области катода имеется вращающаяся магнитная система. Таким образом, происходит распыление поверхности трубного катода ионами рабочего газа и их дальнейшее осаждение на внутренних стенках обрабатываемой трубы. За счёт вращения магнитной системы должна происходить однородная выработка материала мишени по её диаметру.

В настоящий момент создана необходимая вакуумная арматура и подобрано специальное оборудование (вакуумные насосы, датчики измерения давления, система передачи вращения мишени-трубы, система охлаждения и т.д.), необходимое для создания установки.

Заключение. В результате работы была разработана принципиальная модель установки для нанесения покрытий на внутренние стенки цилиндрических изделий, произведены расчеты магнитной системы катодного узла, её изготовление и сборка вакуумной установки. Следующий этап работы состоит в тестировании разработанного макета установки на примере осаждения металлического покрытия

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhengyu Liu, Pingmei Yin, Xubing Wei, Qi Ding, Xueqian Cao, Guangan Zhang, Qunji Xue, Simultaneous deposition of DLC film on the internal surface of multiple pipes, *Diamond and Related Materials*, 127, 2022, 109187
2. Hiroshi Fujiyama, Inner coating of long-narrow tube by plasma sputtering, *Surface and Coatings Technology*, 131, Issues 1–3, 2000, Pages 278-283
3. E. J. d. D. M. Pillaca, M. Ueda and K. G. Kostov, Investigation of Plasma Immersion Ion Implantation Process in Magnetic Mirror Geometry, *IEEE Transactions on Plasma Science*, 39, no. 11, pp. 3049-3055, Nov. 2011
4. Samantha de Fátima Magalhães Mariano, Mario Ueda, Rogério Moraes Oliveira, Elver Juan de Dios Mitma Pillaca, Nazir Monteiro dos Santos, Magnetic-field enhanced plasma immersion ion implantation and deposition (PIII&D) of diamond-like carbon films inside tubes, *Surface and Coatings Technology*, 312, 2017, Pages 47-54
5. M. Ueda, C. Silva, A.R. Marcondes, H. Reuther, G.B. de Souza, Recent experiments on plasma immersion ion implantation (and deposition) using discharges inside metal tubes, *Surface and Coatings Technology*, 355, 2018, Pages 98-110
6. W. Ensinger, Corrosion and wear protection of tube inner walls by ion beam sputter coating, *Surface and Coatings Technology*, Volumes 86–87, Part 1, 1996, Pages 438-442, ISSN 0257-8972.