

ОСОБЕННОСТИ АЗОТИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ МЕЛКОМОДУЛЬНОГО ЗУБЧАТОГО ВЕНЦА В ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОМ ГАЗОВОМ ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННОМ ОБРАЗОВАНИИ ПРИ НИЗКОМ ДАВЛЕНИИ*

В.В. Денисов¹, Ю.А. Денисова¹, Е.В. Островерхов¹, А.В. Леканов², А.А. Леонов¹,
Н.Н. Коваль¹, Р.А. Садриев², В.Н. Тищенко¹, Е.А. Улыбушев², Д.А. Черепанов²

¹ Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия

² АО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф. Решетнёва, г. Железногорск, Россия

Представлены результаты исследования однородности толщины модифицированного слоя на поверхности зубчатого венца из конструкционной стали 38Х2МЮА с модулем зуба $m = 0.5$ и количеством зубов 14, полученного в результате ионно-плазменного азотирования в пучково-плазменном образовании, генерируемом в стационарном и импульсно-периодическом несамостоятельном тлеющем разряде с полым катодом при низком, около 1 Па, давлении. Проведено сравнение толщин азотированного слоя на вершине и в основании зуба, полученных при коэффициенте заполнения разрядного импульса $\gamma = 100, 85$ и 50%. Показано, что минимальная разница в толщинах азотированного слоя, составляющая около 6%, характерна для режима с коэффициентом заполнения разрядного импульса $\gamma = 85\%$. Газовые пучково-плазменные образования, формируемые при низком давлении, перспективны в процессах ионно-плазменного азотирования деталей сложной формы.

Ключевые слова: пучково-плазменное образование, низкое давление, ионно-плазменное азотирование, тлеющий разряд, полый катод, конструкционная сталь, мелко модульный зубчатый венец.

Введение

Эффективным инструментом для решения широкого круга исследовательских и производственных задач является низкотемпературная плазма, генерируемая в различных типах разрядов, в частности в разрядах низкого (≈ 1 Па) давления [1]. Значительный интерес представляют вопросы использования объемных газовых, металлических и газо-металлических плазменных образований, формируемых в разрядах низкого давления для упрочнения поверхности материалов и изделий [2–4]. Техника развивается в направлении создания оборудования с рядом таких улучшенных характеристик, как повышенные (> 0.1 м³) объемы формируемых плазменных образований, высокая степень однородности, широкий диапазон изменения условий генерации и независимое управление ими. Газовые пучково-плазменные образования, генерируемые в газоразрядных системах, характеризуются высокой однородностью формируемой плазмы по объему вакуумной камеры [5].

Благодаря возможности независимой регулировки напряжения горения разряда, начиная от нескольких десятков вольт и до нескольких киловольт, рабочего давления в диапазоне $5 \cdot 10^{-3}$ –1 Па [6], состава газовой смеси, тока тлеющего разряда за счет изменения тока инжектированных электронов из плазмы вспомогательного разряда концентрация ионов в пучково-плазменных образованиях может плавно регулироваться в широчайшем диапазоне 10^9 – 10^{12} см⁻³. При низком ($\approx 10^{-2}$ –1 Па) давлении вероятность столкновения ионов, ускоренных в слое прикатодного падения потенциала или слое падения потенциала смещения обрабатываемой подложки, с частицами газа очень мала [7]. Благодаря этому плавным изменением величины отрицательного (относительно потенциала анода) потенциала смещения можно плавно изменять энергию бомбардирующих ионов, оценивая с высокой, до нескольких процентов, точностью абсолютную величину энергии ионов. Другой важной особенностью пучково-плазменных образований при концентрациях плазмы $\approx 10^{12}$ см⁻³ является малая ширина слоя прикатодного падения потенциала – доли – единицы миллиметра. Благодаря этому становится возможной эффективная обработка поверхности изделий сложной геометрии и формы, например, деталей мелко модульных зубчатых передач, используемых в различных приводах и механизмах поворота ответственных узлов. Однако достижение таких высоких значений концентрации плазмы в постоянном режиме горения разряда нецелесообразно ввиду высокой вероятности достижения обрабатываемым изделием неприемлемо высоких температур. Использование импульсно-периодического режима формирования плазмы с регули-

* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме № FWRM-2022-0001.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>