

Генератор протяженных пучково-плазменных образований на основе несамостоятельного тлеющего разряда низкого давления и способ управления фазовым составом азотированной поверхности инструментальных сталей при обработке в азот-аргоновой плазме такого разряда

На основе несамостоятельного тлеющего разряда низкого давления с полым катодом создан генератор объёмных пучково-плазменных образований, позволяющий в непрерывном и импульсном режимах горения разряда в полом катоде объемом $0,3 \text{ м}^3$ в диапазоне давлений (0,1 – 1,0) Па при токах разряда (20 – 400) А и напряжениях горения от 50 В до 250 В при средней мощности в разряде до 25 кВт создавать плазму с концентрацией $\approx 5 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$ с неоднородностью не хуже $\pm 30\%$ от среднего значения и обеспечивать среднюю плотность ионного тока на полый катод площадью $\approx 2 \text{ м}^2$ до 10 мА/см^2 . Созданный генератор низкотемпературной плазмы предназначен для очистки, активации и азотирования поверхности изделий из конструкционных и инструментальных сталей массой до 150 кг.

Установлено, что в процессе ионно-плазменного азотирования при низком, около 1 Па, давлении в пучково-плазменном образовании, генерируемом в генераторе протяженных пучково-плазменных образований на основе несамостоятельного тлеющего разряда низкого давления, содержание азота в рабочей азот-аргоновой газовой смеси играет определяющую роль в формировании фазового состава и физико-механических свойств поверхностного слоя азотируемых инструментальных сталей. Изменением соотношения азота и аргона в рабочей газовой смеси осуществляется регулирование содержания в поверхностном слое хрупких фаз $\epsilon\text{-Fe}_{2-3}\text{N}$ и $\gamma'\text{-Fe}_4\text{N}$, вплоть до их полного устранения.

Наименьший износ поверхности сталей 4Х5МФС, Х12МФ, Х6ВФ наблюдается после азотирования в пучково-плазменном образовании при низком, около 1 Па давлении, и низком (около 10 %) содержании азота в азот-аргоновой газовой смеси, при которых на поверхности не формируется нитридный слой. На основе полученных результатов комплексных фундаментальных научных исследований в 2020 г. разработаны оптимальные технологические режимы ионно-плазменного азотирования ряда промышленно выпускаемых пуансонов из стали Х12МФ. При этом срок службы пуансонов для холодного прессования деталей возрос в 3 раза по сравнению с пуансонами, обработанными по традиционной технологии закалки.

Определены основные технические возможности и сферы применения метода азотирования в азот-аргоновой плазме несамостоятельного тлеющего разряда низкого давления:

- марки обрабатываемых инструментальных сталей: стали для горячего деформирования (4Х5МФС и их аналоги), стали для холодного деформирования (Х12МФ и их аналоги);
- масса обрабатываемых изделий из инструментальных сталей – от 0,1 до 100 кг;
- размеры обрабатываемых изделий – высотой до 800 мм и диаметром до 350 мм.

Степень готовности разработки к практическому применению:

Технологические режимы азотирования с использованием предлагаемого способа управления фазовым составом внедрены и апробированы на промышленно выпускаемых деталях совместно

с ООО «Проект-Р», г. Новосибирск, и могут быть рекомендованы к применению на предприятиях практически во всех отраслях современной промышленности.

Параметры созданного генератора плазмы приведены в таблице 1.

Генератор используется с 2020 г. для азотирования партий штампового инструмента.

Генератор позволяет получать азотированные слои на поверхности инструментальных сталей без нитридного слоя, увеличивая износостойкость штампового инструмента до нескольких раз.

Преимуществом генератора на основе тлеющего разряда низкого, около 1 Па, давления по сравнению с традиционным аномальным тлеющим разрядом (100-1000 Па), используемым в промышленности, является возможность реализации комбинированных процессов в едином вакуумном пространстве камеры – последовательных этапов азотирования и плазменно-ассистированного напыления функциональных покрытий.

Патентоспособность: высокая, готовится заявка для подачи патента..

Источники финансирования: Проект ФНИ по теме ГЗ № 0291-2019-0002, Грант РФФИ № 19-08-00370 А, Проект РФФИ № Договор НИР ХД204/19 (3.12.2019-18.09.2020г.)

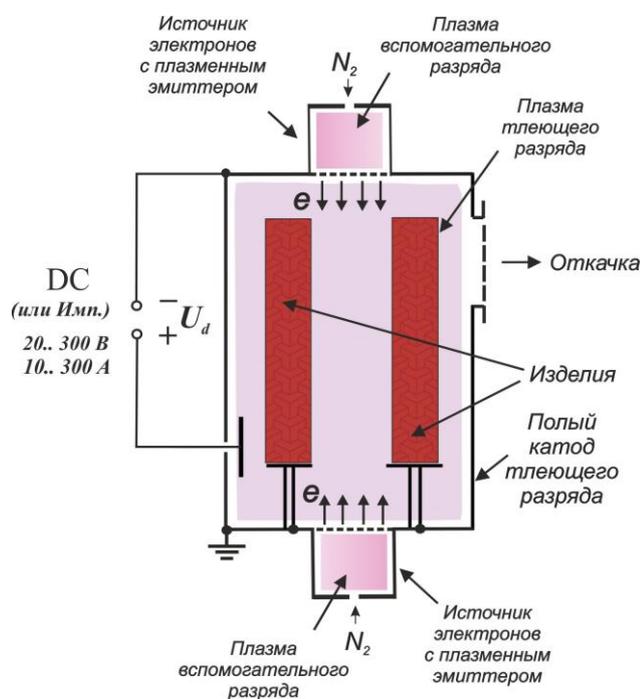


Рис. 1. Схема генератора пучково-плазменных образований



Рис. 2. Внешний вид камеры генератора пучково-плазменных образований



Рис.3 Азотированные пуансоны из стали Х12МФ в рабочей камере установки для генерации пучково-плазменных образований в несамостоятельном тлеющем разряде низкого давления с полым катодом

Таблица 1. – Параметры генератора низкотемпературной плазмы для обработки поверхности материалов и изделий

Объем газоразрядной камеры (без теплового экрана)	0,34 м ³
Среднее значение концентрации плазмы при токе разряда 100 А, напряжении горения 200 В, р = 1 Па	Не ниже 5·10 ¹¹ см ⁻³
Неоднородность распределения концентрации плазмы вдоль оси полого катода, относительно среднего значения	не более ± 30 %
Плотность ионного тока при токе разряда 100А, напряжении 200В, р = 1 Па	Не ниже 5 мА/см ²
Рабочие газы	N ₂ , Ar, O ₂ , H ₂
Режим горения разряда	Постоянный, импульсный
Частота следования разрядных импульсов	1 Гц ÷ 5 кГц
Коэффициент заполнения разрядных импульсов	(1 ÷ 100) %
Напряжение горения разряда	(45 ÷ 250) В
Ток разряда в постоянном режиме горения разряда	(20 ÷ 100) А
Максимальный импульсный ток в импульсном режиме горения	До 400 А
Максимальный средний ток, обеспечиваемый источником питания	100 А
Максимальная средняя мощность в разряде	25 кВт
Максимальная мощность потребляемая источником питания разряда из сети	30 кВт
Размер полезной области для загрузки деталей (с тепловым экраном)	(350×350×400) мм
Масса обрабатываемых деталей в одной садке	До 150 кг
Максимальная достигаемая температура деталей в садке (с тепловыми экранами)	750 °С