

ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАТЕРИАЛЫ

Антонович Д.А., Залесский В.Г., Солдатенко П.Н.

УО «Полоцкий государственный университет», Новополоцк, Беларусь

V.Zaleski@mail.ru

Введение

Ионно-плазменные технологии являются перспективными для управляемой модификации свойств поверхностей материалов [1]. При этом для модификации механических и коррозионных свойств поверхностей применяются ионные потоки с энергией ионов обычно ниже 1 кэВ и плотностью потока порядка 1 мА/см². Поскольку электронные пучки с плотностью мощности до 10⁸ Вт/м² кроме термического, могут оказывать и модифицирующее обрабатываемую поверхность воздействие, а эффективность ионного воздействия зависит от температуры модифицируемого материала, поддерживать которую во всем изделии не целесообразно, то перспективным направлением представляется электронно-лучевое ассистирование ионного воздействия посредством плазменных источников электронов (ИЭП), способных эмитировать как электроны, так и ионы при изменении полярности ускоряющего напряжения.

В данной работе представлены некоторые результаты экспериментального исследования реализации комбинированного ионно-электронного воздействия на поверхность материала с использованием одного ИЭП.

Результаты экспериментов и их обсуждения

В качестве экспериментального ИЭП применялась структура, описанная в [2]. Формирование импульсных ионных пучков осуществлялось тремя способами. Первый состоял в следующем – на электроды разрядной структуры предварительно подавалось постоянное разрядное напряжение, а затем импульс ускоряющего напряжения. Второй заключался в одновременной подаче импульса разрядного и ускоряющего напряжений. Третий состоял в подаче импульсного разрядного напряжения при постоянном ускоряющем напряжении. На основе полученных осциллограмм проводились расчёты суммарного заряда q , флюенса Φ и полной энергии E , вкладываемой в изделие за один импульс, в соответствии со следующими соотношениями:

$$q = \int_0^{\tau_{имп}} I_i(t) dt \quad E = \int_0^{\tau_{имп}} I_i^2(t) R dt \quad \Phi = \frac{q}{eS},$$

где $I_i(t)$ – импульс тока ионной эмиссии, $\tau_{имп}$ – длительность импульса, S – площадь ионного воздействия, R – сопротивление в цепи измерения тока эмиссии (в экспериментах – 1 Ом).

На рис.1 представлены полученные зависимости расчетных величин. Из анализа представленных зависимостей видно, что эффективность использования энергии (рис.1,а), импульса ускоряющего напряжения (величина которой определяется емкостью системы электропитания и в условиях эксперимента составляла 4 мкФ), оказывается выше в случае больших давлений, а сама эффективность использования этой энергии падает с ростом ускоряющего напряжения. На рис. 2, б показаны зависимости заряда и флюенса (суммарного потока) на поверхность (площадь порядка 10⁻⁴ м²) изделия за один импульс. Для достижения заданного уровня воздействия в данном режиме необходимо или повышать плотность плазмы за счет увеличения давления газа, или увеличивать число импульсов воздействия (формировать более 10). В общем случае суммарное время воздействия будет

не более десятка секунд, что позволяет считать перспективным разработку устройств такого типа для формирования ионных потоков на поверхность малогабаритных изделий. Увеличение же давления снижает электрическую прочность ускоряющего промежутка особенно в режиме эмиссии электронов, поэтому этот подход в сравнении с вариантом импульсного воздействия суммарной заданной длительности, достигаемой за счет требуемого числа импульсов, менее перспективен для формирования комбинированного воздействия.

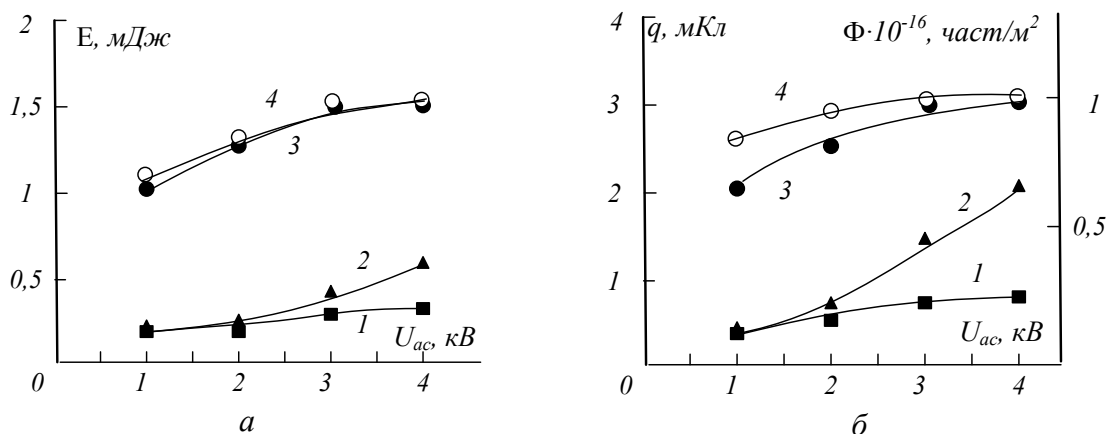


Рис. 1. Зависимость параметров ионного воздействия за один импульс от ускоряющего напряжения: а – энергия, б – заряд и флюенс.

Ток разряда: 1, 3, 4 – 200 мА, 2 – 350 мА, давление газа: 1, 2, 3 – 1 Па, 4 – 10 Па, 5 – 30 Па; анодный потенциал электрода-расширителя

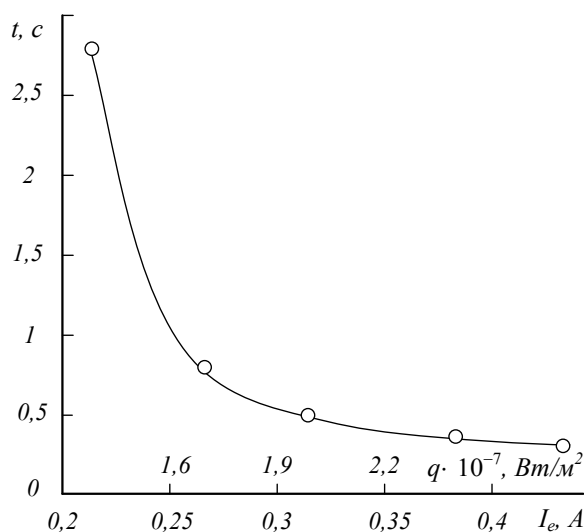


Рис. 2. Зависимость общего времени воздействия от плотности мощности электронно-лучевого воздействия, необходимого для достижения требуемой температуры (600°C) на заданной глубине (0,5 мм) при площади воздействия $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$

Для выбора оптимальных режимов термического электронно-лучевого воздействия проводился анализ требуемых параметров воздействия с использованием разработанной прикладной программы [3] на основе решения уравнения теплопроводности с учётом температурной зависимости коэффициента теплопроводности для материалов типа сталь 45. В качестве критерия останова расчета при заданных плотности мощности электронного пучка и параметрах непрерывного или импульсного воздействия использовалось условие достижения температуры 600 °С на глубине материала 0.5 мм. Мощность варьировалась током пучка и площадью воздействия при ускоряющем напряжении 5 кВ. При заданной плотности мощности определялось общее время воздействия, длительность и скважность импульсов. Некоторые результаты расчетов приведены на рис. 3.

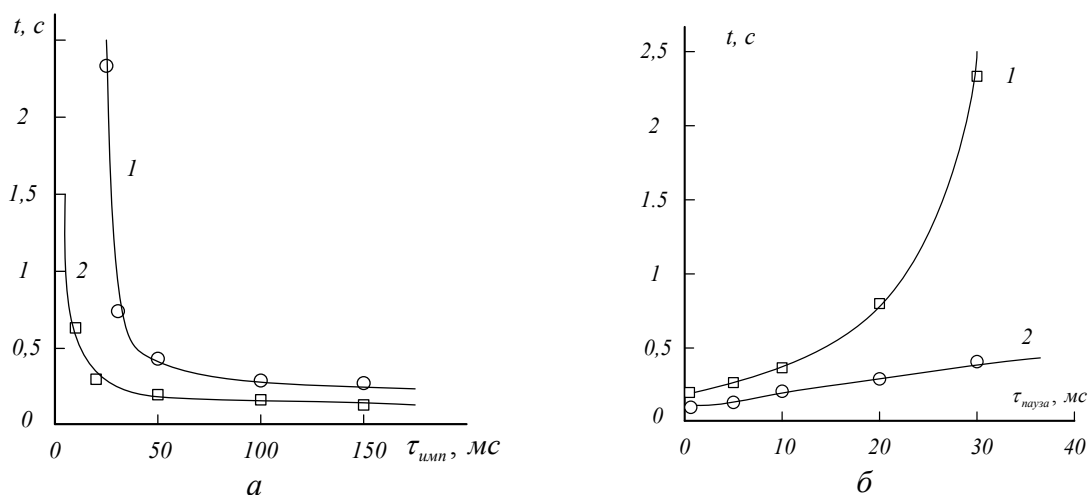


Рис. 3. Зависимость общего времени воздействия необходимого для достижения требуемой температуры (600°C) на заданной глубине ($0,5\text{ мм}$): *a* – от длительности импульса, *б* – от длительности паузы между импульсами.

Площадь воздействия – $1,2 \cdot 10^{-4}\text{ м}^2$, длительность паузы – 20 мс , плотность мощности:
 1 – $1,6 \cdot 10^7\text{ Вт/м}^2$, 2 – $2,55 \cdot 10^7\text{ Вт/м}^2$

Поскольку при указанных плотностях мощности общее время воздействия не превышает десяти секунд (рисунок 2), то это позволяет предполагать возможность эффективного комбинированного воздействия. Для исключения распыления поверхности вследствие ее перегрева и повышения однородности прогрева модифицируемого слоя целесообразно использовать импульсный режим воздействия, при котором варьируется как длительность импульса, так и время паузы (скважность воздействия). На рис. 3, *a*, представлены результаты расчетов по влиянию длительности воздействия в импульсе на общее время воздействия, а на рис. 3, *б* – результаты расчетов по влиянию длительности паузы на общее время воздействия при различных плотностях мощности. На основании проведенных расчетов могут быть определены диапазоны параметров импульсов, необходимые для достижения требуемой температуры на заданной глубине. Так для представленных на рисунках расчетов оптимальными можно считать, что при требуемой плотности мощности более $2 \cdot 10^7\text{ Вт/м}^2$ (ускоряющее напряжение 5 кВ , ток пучка $0,3\text{ А}$) длительность импульса должна составлять величину порядка 50 мс при длительности паузы 20 мс .

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о возможности попеременного извлечения электронов и ионов из плазмы газового разряда и реализации комбинированного ионно-электронного воздействия на поверхность материала с использованием одного ИЭП с параметрами, достаточными для реализации ряда технологий модификации поверхностей.

Список литературы

1. Плазменные эмиссионные системы с ненакаливаемыми катодами для ионно-плазменных технологий/ В.Т. Барченко [и др.], под общ. ред. В.Т. Барченко - СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. - 220 с.
2. Груздев, В.А. Плазменный ионно-электронный источник// В. Г. Залесский, П.Н. Солдатенко/ Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С: Фундаментальные науки. – 2013. – № 4. – С. 63–68.
3. Моделирование температурного поля в поверхностном слое при импульсном электронно-лучевом воздействии / В.А.Груздев, В.Г. Залесский, Д.Г. Руголь // Инженерно физический журнал. – 2007 № 2, с 134 - 142