

УДК 621.77.016:621.78.061

DOI: 10.12737/article_59cd7640214391.75951196

В.А. Логвин, И.В. Терешко, В.В. Редько-Бодмер, С.А. Шептунов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СПОСОБА КОНТРОЛЯ ВИДИМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА ПРИ СОЗДАНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Представлены результаты исследований возможности использования фотоэлектрического способа контроля стабильности интенсивности видимого излучения тлеющего разряда при обработке изделий. Установлено, что интенсивность видимого излучения плазмы зависит от основных параметров

процесса обработки изделий и поддается контролю и стабилизации.

Ключевые слова: плазма, тлеющий разряд, интенсивность излучения, автоматизированная технологическая среда, вакуумные установки.

V. A. Logvin, I. V. Tereshko, V. V. Redko-Bodmer, S. A. Sheptunov

USE OF PHOTOELECTRIC METHOD FOR CONTROL OF GLOW DISCHARGE VISIBLE RADIATION AT CREATION OF AUTOMATED TECHNOLOGICAL ENVIRONMENT FOR MATERIAL MACHINING

The paper reports the investigation results of photoelectric method possibility for the intensity stability control of glow discharge visible radiation at product processing. It is defined, that the intensity of plasma visible radiation depends upon basic parameters of a product working process and submits to the control and stabilization. The developed method of control has shown its efficiency and working capacity in the whole

range of process parameter changes and could be used in the system of control at the development of the automated technological environment for realization of new technologies based on glow discharge use.

Key words: plasma, glow discharge, radiation intensity, automated technological environment, vacuum plants.

Введение

Эффективным для упрочнения и пластификации металлов и сплавов является способ, основанный на формировании в них уравновешенной структуры поверхности посредством воздействия низкоэнергетической плазмы тлеющего разряда [1–8]. Использование плазмы тлеющего разряда для структурирования материалов позволяет подвергать уже готовые к эксплуатации изделия воздействию ионных потоков без изменения их геометрии. Это процесс взаимодействия хаоса налетающих ионов и кристаллических решёток облучаемых мишеней, не требующий формирования концентрированных ионных пучков. Для обеспечения высокой воспроизводимости результатов необходим эффективный контроль стабильности параметров плазмы тлеющего разряда и, в первую очередь, постоянства концентрации ионов вблизи ка-

тода, определяющих самоорганизационные процессы в объёме упрочняемых изделий.

Наиболее важными для тлеющего разряда являются процессы, протекающие непосредственно на самом катоде и в прикатодной области темного пространства и связанные с образованием потока электронов для ионизации межэлектродного пространства. Качество обработки поверхности изделий зависит от стабильности этих процессов и, в частности, от стабильности и степени интенсивности плазменного облака как у анода, так и в стратах, особенно вблизи катодной области. Установление взаимосвязи между степенью интенсивности плазмы и возможностью экспериментального определения ее влияния на основные физико-механические свойства твердых тел, подвергнутых воздействию



тлеющего разряда, является важным для процесса их обработки [9-13].

Эффективность обработки в тлеющем разряде определяется степенью интенсивности плазмы, способствующей формированию заряженных частиц, непосредственно участвующих в бомбардировке поверхности изделий, расположенных на катоде. Для снижения энергозатрат и сокращения времени обработки при одновременном обеспечении заданного качества поверхности необходимо стабилизировать степень интенсивности плазмы, обеспечивающей концентрацию образующихся вследствие ионно-электронной и фотоэлектронной эмиссий заряженных частиц. Определенная часть электронов участвует в рекомбинации положительно заряженных ионов, что также снижает степень интенсивности плазмы в прикатодной области [9-13].

В тлеющем разряде суммарная эмиссия электронов с катода складывается из отдельных актов эмиссии, обусловленных попаданием на катод ионов, возбужденных атомов, быстрых нейтральных атомов. Эти процессы сопровождаются возбуждением молекул газовой технологической среды с последующим переходом их в нормальное состояние с излучением кванта света. Спектральный состав света, излучаемого плазмой тлеющего разряда, определяется используемым газовым составом, а интенсивность света – концентрацией возбужденных атомов и ионов. Постоянство этих и других параметров характеризует стабильность тлеющего разряда, а следова-

тельно, и воспроизводимость его воздействия на облучаемые материалы.

Определяющим условием для тлеющего разряда являются процессы, происходящие непосредственно на самом катоде и в прикатодной области темного пространства. Эти же процессы определяют качество обработки поверхности изделий. Поэтому исследование зависимости интенсивности видимого интегрального излучения, или излучения в отдельных участках спектра, от электрических параметров плазмы (ток в разряде, напряжение на электродах) и давления газовой среды составляет основу фотоэлектрических способов контроля стабильности плазмы тлеющего разряда.

Поскольку концентрация возбужденных атомов и ионов газовой среды определяет интенсивность излучаемого света, то этот факт можно использовать для контроля стабильности физических условий тлеющего разряда в прианодной и прикатодной областях разрядного промежутка.

Главной задачей работы является разработка и исследование фотоэлектрического способа контроля стабильности плазмы тлеющего разряда, обеспечивающего воспроизводимость основных самоорганизационных процессов в металлах и сплавах, подвергаемых низкоэнергетическому воздействию ионов, с целью разработки новых способов, технологий и автоматизированных устройств для создания автоматизированной технологической среды.

Методика исследования

Для решения поставленной задачи были разработаны и изготовлены два фотоэлектрических устройства - насадки, прикрепляемые на смотровые окна вакуумной камеры установки и расположенные на уровне прикатодной и прианодной областей. Насадки включают фотодиоды, направляющие для установки светофильтров из цветных калиброванных стекол [14] и электроизмерительные приборы.

Для реализации фотоэлектрического способа использовались фотодиоды с наибольшей светочувствительностью в синей и красной областях спектра.

Устройство [15] (рис. 1) состоит из корпуса 1, на котором с внутренней стороны закреплен фотодиод 2, и системы контактов 3, к которым подсоединены выход фотодиода 2 и вход регистрирующего устройства 4.

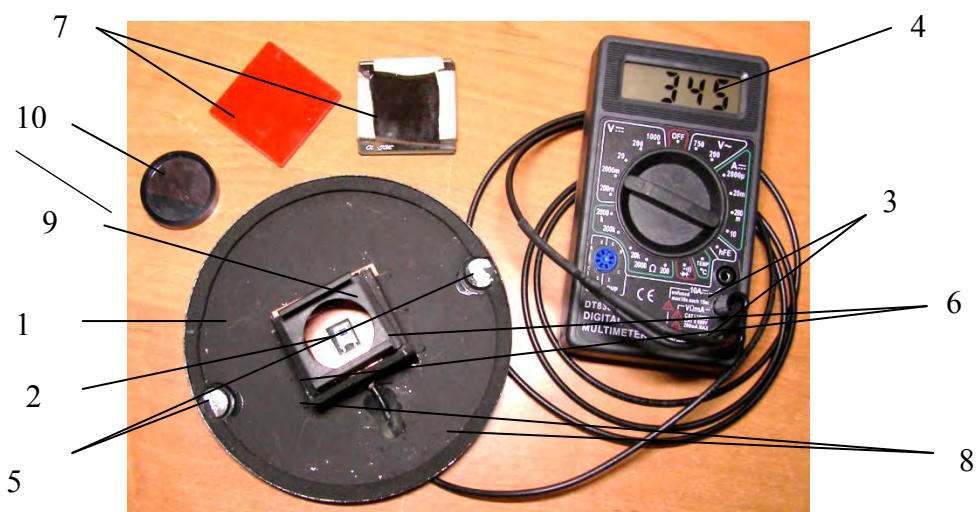


Рис. 1. Устройство для контроля интенсивности видимого излучения плазмы тлеющего разряда

На внутренней стороне корпуса 1 дополнительно установлены постоянные магниты 5 для быстрого крепления и снятия корпуса 1 и направляющие 6 для быстрой установки и снятия светофильтров 7. Вокруг направляющих 6 и корпуса 1 установлены фиксирующе-затягивающие упругие шторки 8. На направляющих 6 дополнительно установлены прижимы 9 с возможностью быстрой установки и снятия интерференционного фильтра 10. В направляющие 6 может устанавливаться светофильтр 7, необходимый для контроля излучения плазмы тлеющего разряда в красной или синей области спектра, таким образом, чтобы фиксирующе-затягивающие упругие шторки 8 плотно прилепали по периметру светофильтра 7 после установки на смотровом окне вакуумной камеры в прикатодной 11 и прианодной 12 областях тлеющего разряда (рис. 2). Выход фотодиода 2 и вход регистрирующего устройства 4 соединяются проводами. Устройство для контроля интенсивности излучения плазмы тлеющего разряда устанавливается на смотровое окно вакуумной камеры и фиксируется при помощи постоянных магнитов 5.

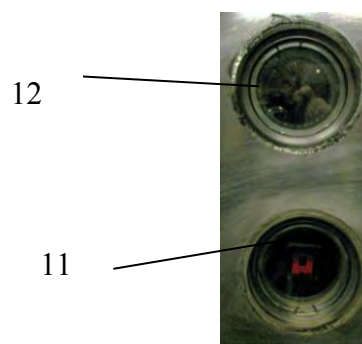


Рис. 2. Расположение устройств для контроля интенсивности видимого излучения плазмы тлеющего разряда на смотровых окнах вакуумной камеры

С помощью этих устройств проводились два вида фотоэлектрических измерений: интенсивности видимого интегрального излучения плазмы в прианодной и прикатодной областях и излучения в красной и синей частях спектра излучения аргона, в которых находятся основные спектральные линии излучения атомов аргона.

Измерения интегрального видимого излучения плазмы проводились с использованием фотодиодов, имеющих максимальную чувствительность в видимой области спектра.

Результаты исследований и их обсуждение

Экспериментально установлено, что изменения интенсивности интегрального видимого излучения плазмы вблизи анода и катода в зависимости от изменения электрических параметров плазмы идентичны, но интенсивность излучения в прикатодной области больше, чем в прианодной. Кроме того, с учетом важности процессов, проходящих на катоде, все измерения видимого излучения плазмы представлены только для прикатодной области.

На рис. 3 представлены зависимости интенсивности интегрального видимого излучения плазмы тлеющего разряда от напряжения на электродах при давлении аргона 1,6; 3; 4 и 8 Па.

Установлено, что зависимость интенсивности интегрального видимого излучения плазмы тлеющего разряда при увеличении напряжения имеет нелинейный характер с изломами, указывающими на возможность наличия в разряде так называемой ступенчатой ионизации, которая проявляется при одно-, двух- и трехкратной

ионизации ионов аргона электронным ударом, как в прианодной, так и в прикатодной областях. При этом изменяется и ток разряда, также зависящий от напряжения на электродах и давления аргона (рис. 4). Причем чем больше давление аргона, тем при меньшем напряжении на электродах возникает переход аномального тлеющего разряда в дуговой. Эти данные не являются достаточно информативными для выбора оптимальных параметров плазмы и решения поставленных задач. Поэтому были проведены предварительные экспериментальные исследования зависимости качества обработанных поверхностей от давления и тока в разряде. Установлено, что оптимальными параметрами являются значения тока в интервале 10...100 мА, давления 2...10 Па, напряжения на электродах 200...1500 В. Оптимальные значения напряжений и давлений аргона для получения тока в разряде 100, 75 и 50 мА приведены в табл. 1.

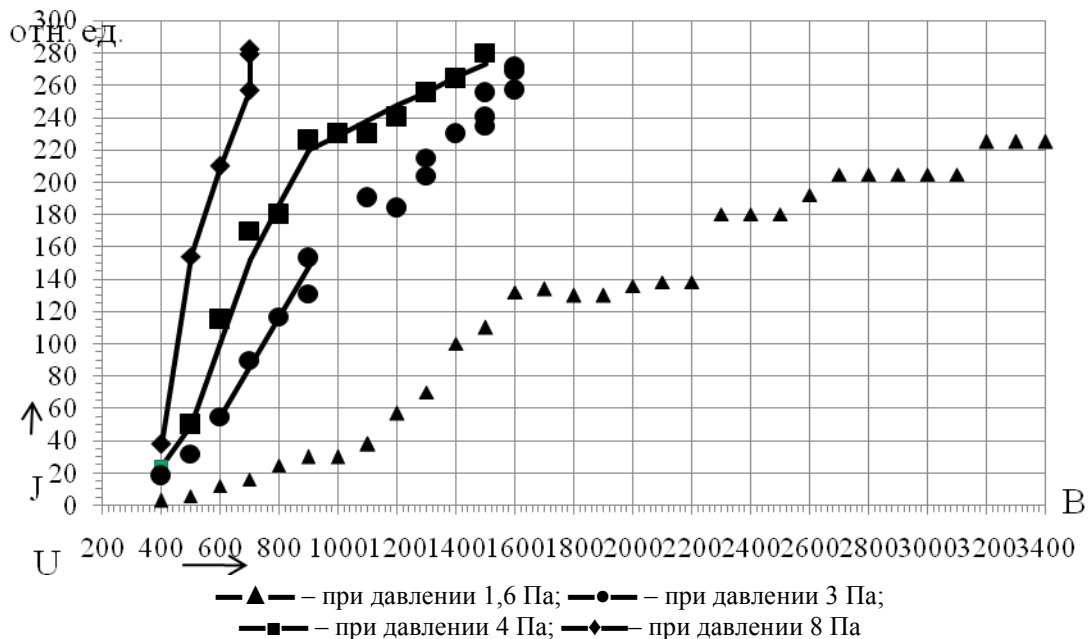


Рис. 3. Зависимость интенсивности интегрального видимого излучения плазмы тлеющего разряда от напряжения на электродах

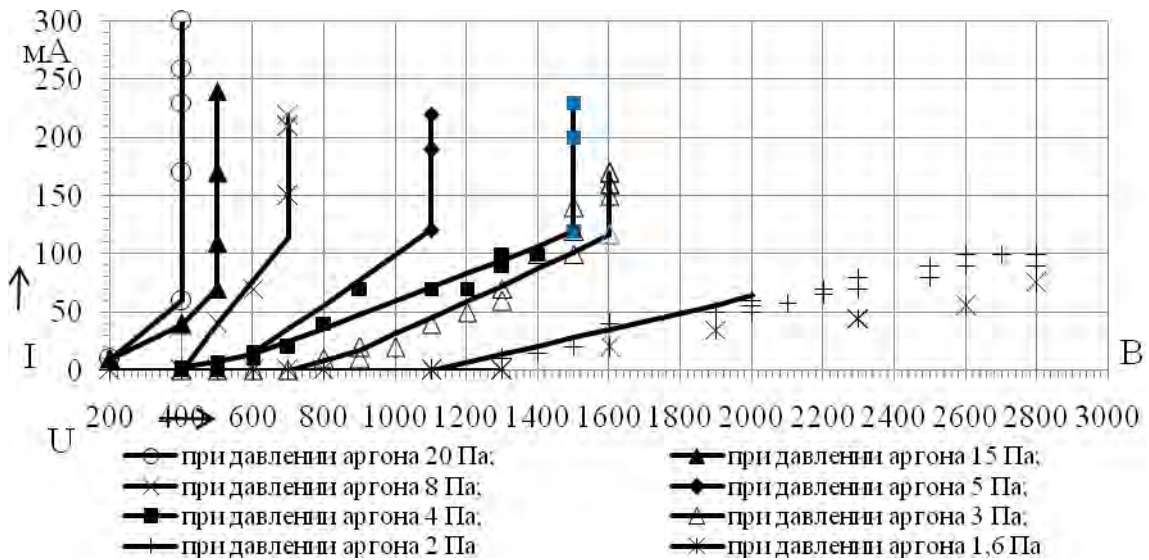


Рис. 4. Зависимость величины тока тлеющего разряда от напряжения на электродах

Таблица 1

Значения напряжений на электродах для получения оптимального тока тлеющего разряда (в вольтах)

Ток тлеющего разряда I, мА	Давление аргона P, Па				
	2	4	5	8	15
100	2500	1300	950	700	–
75	2400	1100	850	600	450
50	2100	900	750	540	440

При этих электрических параметрах тлеющего разряда интенсивность свечения плазмы меняется от 75 до 300 отн. ед. при

изменении тока от 10 до 100 мА (рис. 5) и изменении напряжения на электродах от 200 до 1500 В (рис. 6).

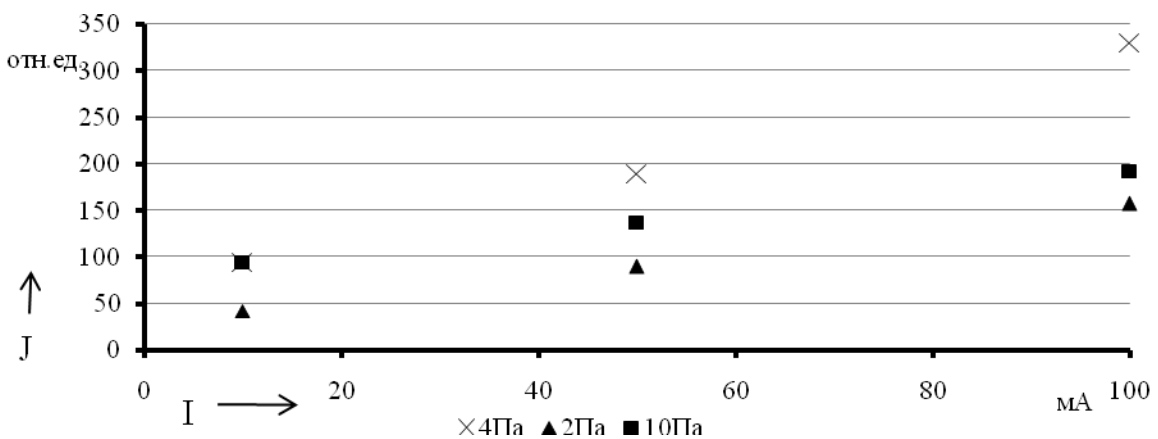


Рис. 5. Зависимость интенсивности видимого излучения плазмы тлеющего разряда от тока в разряде

Из рис. 5 и 6 видно, что интенсивность интегрального видимого излучения

плазмы является линейной функцией тока в разряде и напряжения в определенных



пределах, что указывает на возможность использования фотоэлектрического способа измерения интенсивности интегрального видимого излучения плазмы в качестве

метода контроля стабильности условий при обработке материалов в тлеющем разряде при указанных параметрах.

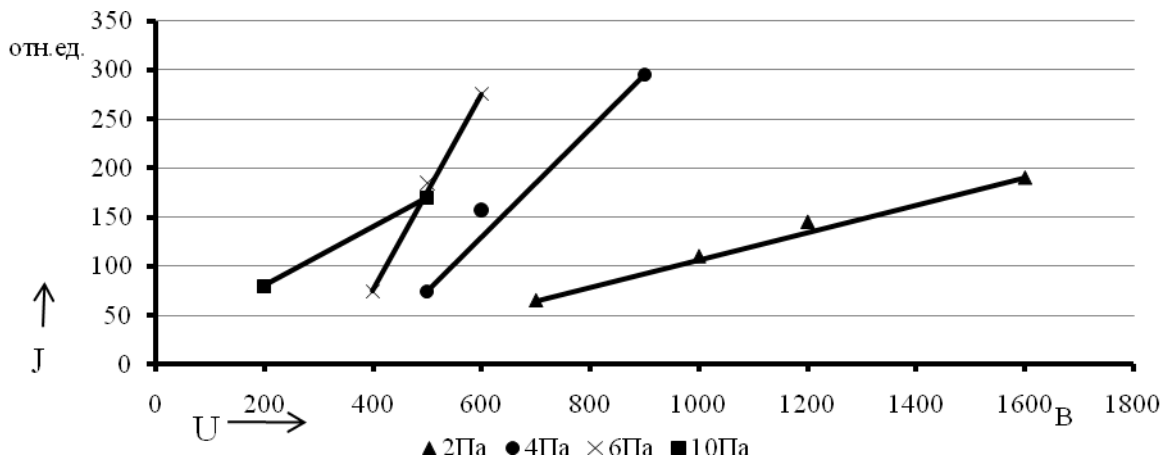


Рис. 6. Зависимость интенсивности видимого излучения плазмы тлеющего разряда от напряжения на электродах при разных давлениях аргона

На рис. 7 представлены зависимости отношений изменения интенсивности ΔJ видимого излучения плазмы к изменению тока ΔI плазмы ($\Delta J/\Delta I$) и напряжения ($\Delta J/\Delta U$) при разных давлениях. Видно, что при давлении аргона 10 Па величины отношений $\Delta J/\Delta I$ и $\Delta J/\Delta U$ уменьшаются, что указывает на уменьшение интенсивности

видимого излучения плазмы при увеличении концентрации ионов аргона. Можно предположить, что причиной этого может быть явление, известное в оптике как «концентрационное тушение», связанное с передачей энергии возбужденных атомов соседним невозбужденным атомам без излучения кванта света.

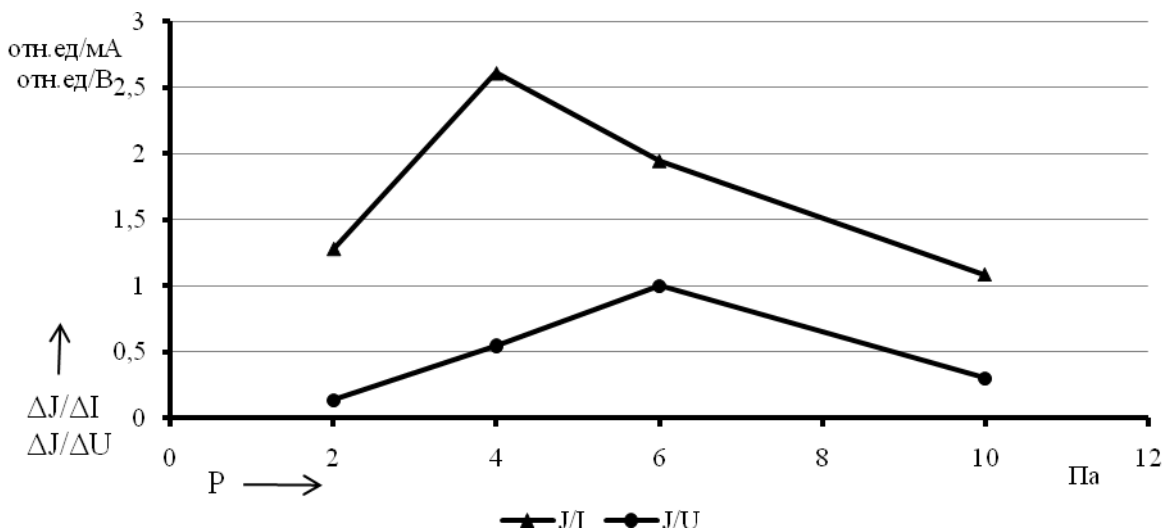


Рис. 7. Зависимость относительных изменений интенсивности видимого излучения плазмы тлеющего разряда от давления аргона в вакуумной камере

Цвет видимого излучения плазмы тлеющего разряда в атмосфере аргона обу-

словлен наличием в его оптическом спектре групп спектральных линий в диапазо-



нах 590...650 нм (красная область спектра) и 410...480 нм (синяя область спектра). Для фотоэлектрических измерений из интегрального видимого излучения выделялась каждая область спектра в отдельности с помощью калиброванных цветных стекол. Их оптические параметры приведены в каталоге цветного стекла [14].

Исследовались такие же зависимости интенсивности видимого излучения в синей и красной областях спектра аргона от электрических параметров плазмы тлеющего разряда.

Установлено, что регистрируемая фотодиодом интенсивность излучения плазмы в красной и синей областях спектра вблизи катода в несколько раз больше, чем вблизи анода. Поэтому все изложенные ниже результаты спектральных измерений зависимости интенсивности от параметров плазмы тлеющего разряда относятся к прикатодной области.

На рис. 8 представлены результаты исследований зависимости интенсивности видимого излучения плазмы тлеющего

разряда от напряжения на электродах в красной и синей областях спектра при давлении аргона 2; 4; 6 и 10 Па (без учета спектральной чувствительности фотодиода в синей области спектра).

Установлено, что регистрируемая интенсивность излучения плазмы в синей области (без учета чувствительности) спектра меньше интенсивности излучения в красной области в 4...6 раз в зависимости от давления аргона. Отношение изменения интенсивности к изменению напряжения на электродах ($\Delta J/\Delta U$) в синей области спектра изменяется от 0,03 до 0,11, а в красной - от 0,11 до 0,38. В красной и синей областях спектра видимого излучения плазмы тлеющего разряда наблюдается уменьшение отношения изменения интенсивности излучения плазмы к изменению напряжения на электродах ($\Delta J/\Delta U$) при давлении 10 Па и более, что может служить подтверждением высказанного выше предположения о появлении в плазме так называемого концентрационного тушения излучения.

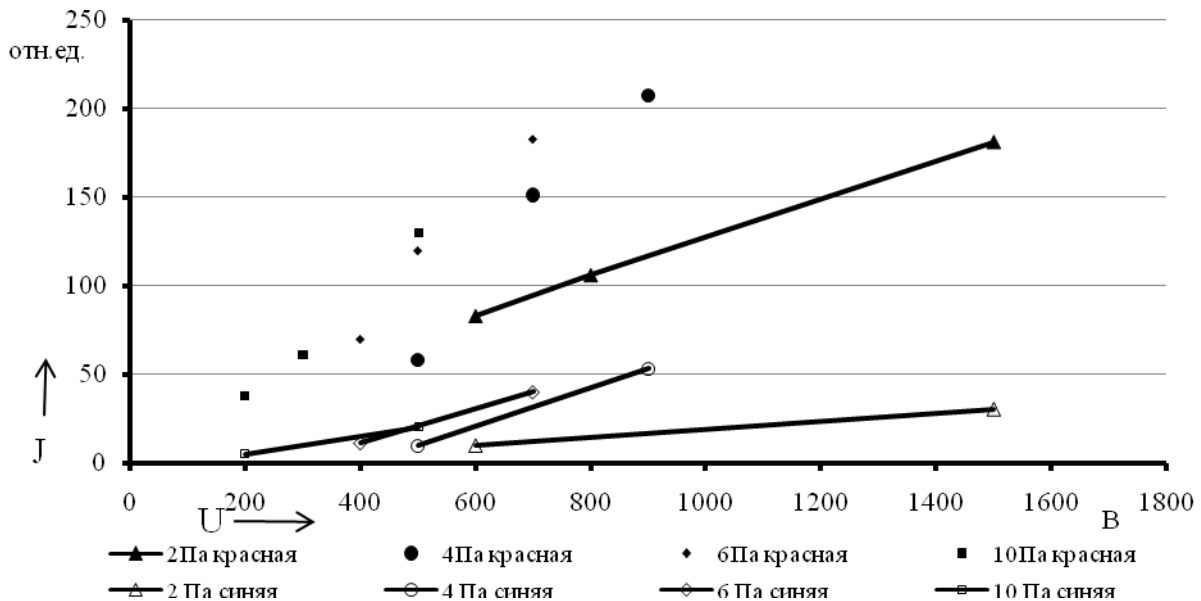


Рис. 8. Зависимость интенсивности видимого излучения плазмы от напряжения на электродах при различных давлениях аргона

Результаты исследований зависимости регистрируемой интенсивности излучения плазмы в красной и синей областях

спектра от тока в разряде представлены на рисунке 9 (без учета спектральной чувствительности фотодиода).

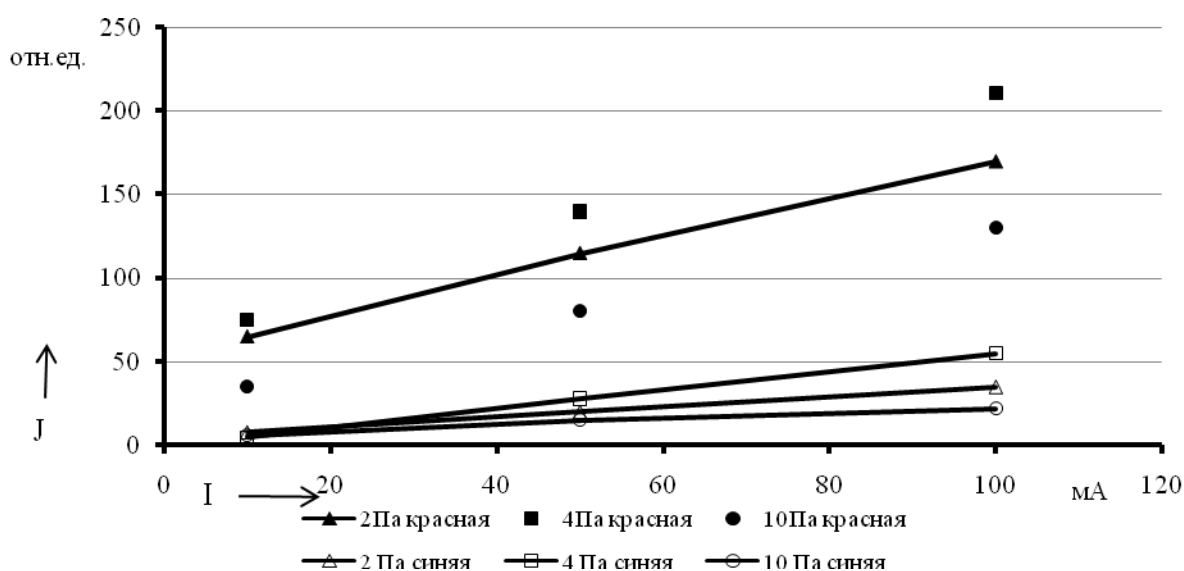


Рис. 9. Зависимость интенсивности видимого излучения плазмы от тока разряда при различных давлениях аргона

Регистрируемое приборами излучение плазмы в синей области спектра меньше, чем в красной области, в 4...6 раз в зависимости от давления аргона в вакуумной камере, а изменение интенсивности при изменении величины тока в разряде ($\Delta J/\Delta I$) также уменьшается при давлении аргона 10 Па и более (табл. 2).

Из данных, представленных в табл. 2, следует, что для контроля стабильности плазмы тлеющего разряда нецелесообразно использовать измерения интенсивности излучения в синей области спектра видимого излучения аргона вследствие небольшой чувствительности диодов в этой области.

Таблица 2

Отношение изменения интенсивности к изменению напряжения на электродах и тока в разряде

		Давление P, Па			
		2	4	6	10
$\Delta J/\Delta U$	Синяя область спектра излучения	0,03	0,11	0,09	0,05
	Красная область спектра излучения	0,11	0,36	0,38	0,32
$\Delta J/\Delta I$	Синяя область спектра излучения	0,25	0,44	0,40	0,16
	Красная область спектра излучения	1,10	1,35	1,30	0,95

Выводы

1. Контроль стабильности регистрируемой фотодиодом интенсивности видимого излучения плазмы в сочетании с оперативным изменением объема технологической среды, прокачиваемой через межэлектродное пространство при работе вакуумной установки, может служить дополнительным способом мониторинга обеспечения воспроизводимости качества структурных изменений в обрабатываемых изделиях.

2. Разработанные устройства контроля стабильности интенсивности видимого излучения плазмы можно использовать как средства оперативного мониторинга при создании автоматизированной технологической среды для стабилизации качества изделий при разработке новых технологий обработки различных изделий в тлеющем разряде.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tereshko, I.V. Self Organizing processes in metals by Low-energy ion beams / I.V. Tereshko, V.I. Khodyrev, E.A. Lipsky // Nucl. Instr. And Meth. In Physics Research NIMB. – 1993. – В 80/81. – P. 115–117.
2. The formation of nanoclusters in metals by the low-energy ion irradiation / I.V. Tereshko [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2007. – V. 201. – P. 8552–8556.
3. Nanostructural evolution of steel and titanium alloys exposed to glow discharge / I.V. Tereshko [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section B. Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2007. – V. 261. – P. 678–681.
4. Cell adhesion study of the titanium alloys exposed to glow discharge / V.Abidzina [et al.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section B. Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2007. – V. 261. – P. 624–626.
5. Терешко, И.В. Эффект дальнего действия в материалах при низкоэнергетическом ионном облучении / И.В. Терешко // Вестн. Нижегород. ун-та. Серия «Физика твердого тела». – 1998. – Вып. 2. – С. 131–139.
6. Логвин, В.А. Упрочнение поверхностей деталей воздействием тлеющего разряда в вакууме / В.А. Логвин, Ж.А. Мрочек // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: материалы 12-го науч.-техн. семина. / Ассоциация технологов-машиностроителей Украины, Академия технологических наук Украины, Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, ООО «НПП Реммаш», Киевский национальный университет технологий и дизайна, Ассоциация инженеров-трибологов России, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Московский государственный открытый университет, машиностроительный факультет Белградского университета, Белорусский национальный технический университет. - Киев: Машиностроение, 2012. - С. 156-158.
7. Логвин, В.А. Формообразование поверхностей валов суперкаландров: монография / В.А. Логвин [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2012. – 191 с.
8. Логвин, В.А. Рациональное использование ресурса режущих инструментов – резерв повышения производительности / В.А. Логвин, Ж.А. Мрочек // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки: тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. (г. Минск, 12–13 апр. 2011 г.). – Минск: Бизнесофсет, 2011. – С. 117–119.
9. Велихов, Е.П. Физические явления в газовой плазме / Е.П. Велихов, А.С. Ковалев, А.Т. Рахимов. – М.: Наука, 1987. – 159 с.
10. Козлов, Э.В. Изменения, вызванные низкоэнергетической плазмой в поверхностных слоях, и объёмные свойства металлов и сплавов / Э.В. Козлов, И.В. Терешко, Н.А. Попова // Известия вузов. Физика. - 1994. - № 5. - С. 127-140.
11. Райзер, Ю.П. Физика газового разряда / Ю.П. Райзер. – М.: Наука, 1987. – 592 с.
12. Кунченко, Ю.В. О глубине зоны модификации свойств (упрочнения) материалов облучением при $T \leq 100^\circ\text{C}$ низкоэнергетической плазмой тлеющего разряда / Ю.В. Кунченко, В.В. Кунченко, Г.Н. Картмазов // ФП ФИП PSE. – 2009. - Т. 7. - № 1–2. – С. 46–53.
13. Бабад-Захряпин, А.А. Высокотемпературные процессы в материалах, поврежденных низкоэнергетическими ионами / А.А. Бабад-Захряпин. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 115 с.
14. Каталог цветного стекла / под ред. В.В. Варгина. – М.: Машиностроение, 1967. – 63 с.
15. Пат. 10193 Респ. Беларусь, МПК С23С 14/38. Устройство для контроля интенсивности излучения плазмы тлеющего разряда / В.А. Логвин, В.П. Редько, А.В. Волченков, Е.В. Логвина, И.В. Терешко; заявитель Логвин Владимир Александрович (BY). – № u20130944; заявл. 18.11.13; опубл. 30.08.14 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 4. – С. 205.



6. Logvin, V.A. Parts surfaces strengthening with impact of glow discharge in vacuum / V.A. Logvin, Zh.A. Mrochek // *Current Problems of Production and Repair in Industry and Transport: Proceedings of the XII-th Scientific Eng. Seminar* / Association of Technologists-Engineering Workers of the Ukraine, Academy of Engineering Works of the Ukraine, Bakul Institute of Super-Hard Materials of the Ukraine, Ukrainian State Academy of Railway Transport, PC "SRC Remmash", Kiev National University of Technology and Design, Association of Tribology Engineers of Russia, Baikov Institute of Metallurgy and Material Science of RAS, Moscow State Open University, Engineering Faculty of Belgrade University, Belorussian National Technical University. – Kiev: Mechanical Engineering, 2012. – pp. 156-158.
7. Logvin, V.A. *Shaping of Super-Calender Shaft Surfaces: monograph* / V.A. Logvin [et al.]. Mogilev: Belorus.-Russ. University, 2012. – pp. 191.
8. Logvin, V.A. Efficient use of cutter life – reserve for efficiency increase / V.A. Logvin, Zh.A. Mrochek // *Promising Directions in Technology Development of Engineering Techniques and Metal Machining: Abstract of Reports of the Inter. Scientific Tech. Conf. (Minsk, April 12-13, 2011)*. – Minsk: Businessoffset, 2011. – pp. 117-119.
9. Velikhov, E.P. *Physical Phenomena in Gas Plasma* / E.P. Velikhov, A.S. Kovalev, A.T. Rakhimov. – M.: Science, 1987. – pp. 159.
10. Kozlov, E.V. Changes caused by low-energy plasma in surface layers and volume properties of metals and alloys / E.V. Kozlov, I.V. Tereshko, N.A. Popova // *College Proceedings. Physics*. – 1994. – No. 5 – pp. 127-140.
11. Reiser, Yu.P. *Gas Discharge Physics* / Yu.P. Reiser. – M.: Science, 1987. – pp. 592.
12. Kunchenko, Yu.V. *On Depth of Modification Area of Material Properties (Strengthening) by Irradiation at $T \leq 100^\circ\text{C}$ of Low-Energy Plasma of Glow Discharge* / Yu.V. Kunchenko, V.V. Kunchenko, G.N. Kartmazov // FIP PSE. – 2009. – Vol. 7. – No. 1-2. – pp. 46-53.
13. Babad-Zakhryapin, A.A. *High-Temperature Processes in Materials Damaged by Low-energy Ions* / A.A. Babad-Zakhryapin. – M.: Energoatomizdat, 1985. – pp. 115.
14. *Catalogue of Color Glass* / under the editorship of V.V. Vargin. – M.: Mechanical Engineering, 1967. – pp. 63.
15. Pat. 10193 Republic Belarus IPC C23C 14/38. *Device for Control of Glow Discharge* / V.A. Logvin, V.P. Redko, A.V. Volchenkov, E.V. Logvina, I.V. Tereshko: applicant Logvin Vladimir Alexandrovich (BY). – No. u20130944; applied 18.11.13; published 30.08.14 // Official Bull. / National Center of Intellectual Property. – 2014. – No.4. – pp. 205.

Статья поступила в редколлегию 13.09.17.

Рецензент: д.т.н., профессор
Куликов М.Ю.

Сведения об авторах:

Логвин Владимир Александрович, к.т.н., доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Белорусско-Российского университета, e-mail: logvinvladim@yandex.ru.

Терешко Ирина Васильевна, к.физ.-мат.н., доцент кафедры «Физика» Белорусско-Российского университета, e-mail: iter41@mail.ru.

Редько-Бодмер Влада Всеволодовна, к.т.н., доцент кафедры «Технология продукции обществен-

Logvin Vladimir Alexandrovich, Can. Eng., of the Dep. "Machine-Tools and Tools", Belorussian-Russian University, e-mail: logvinvladim@yandex.ru.

Tereshko Irina Vasilievna, Can. Physico-Math., Assistant Prof. of the Dep. "Physics", Belorussian-Russian University, e-mail: iter41@mail.ru.

ного питания и мясопродуктов» Могилевского государственного университета продовольствия, e-mail: vso@tut.by.

Шептунов Сергей Александрович, д.т.н., профессор, директор Института конструкторско-технологической информатики РАН, e-mail: ship@ikti.org.ru.

Redko-Bodmer Vlada Vsevolodovna, Can. Eng., Assistant Prof. of the Dep. "Technology of Catering Produce and Meat Foods, Mogilyov State University of Foodstuffs, e-mail: vso@tut.by.

Sheptunov Sergey Alexandrovich, D. Eng., Prof. Director of Institute of Design-Technological Informatics of RAS, e-mail: ship@ikti.org.ru.

