УДК 621.002.56 https://doi.org/10.15407/itm2019.03.098

А. Д. ГРИШКЕВИЧ, С. И. ГРИНЮК

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНЕТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЛАЗМЕННО-ИММЕРСИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ

Институт технической механики
Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины,
ул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Днепр, Украина; e-mail: Gryshkevych.O.D@nas.gov.ua

Целью работы является исследование возможности применения плазменно-иммерсионной технологии для обработки внешних поверхностей трения габаритных трубчатых деталей и групповой упрочняющей обработки объемных деталей с развитой геометрией наружной поверхности. Рассматривается комплексная технология, включающая высокоинтенсивную низкоэнергетичную имплантацию азота и нанесение наноструктурного функционального покрытия.

Исследованы особенности использования источника ускоренных газовых ионов для проведения комплексной технологии поверхностной обработки рабочей поверхности пары трения. Комплексная технология включает ионную полировку для устранения последствий абразивной обработки. Выявлены особенности предварительной обработки поверхности перед покрытием в условиях «масляной» откачки при обработке деталей из титановых сплавов. Для обеспечения иммерсионного характера обработки использован оригинальный способ подключения источника питания разряда ускорителя ионов.

Экспериментально доказано, что планарное магнетронное устройство несбалансированного типа может создавать поток пучковой плазмы для проведения предварительных операций нагрева, очищения и активации поверхности обрабатываемого объекта. С его помощью обеспечивается нанесение функционального покрытия, а также создается рабочая плазменная среда для проведения локальной и групповой иммерсионной технологии высокоинтенсивной низкоэнергетической имплантации азота.

Обосновано применение плазменных устройств магнетронного типа для обеспечения плазменно-иммерсионной обработки в разреженной плазме несамостоятельного тлеющего разряда. Разработано и испытано магнетронное устройство для нанесения покрытия при пониженном рабочем давлении $(7 - 8) \times 10^{-4}$ Торр. Благодаря сильной несбалансированности магнитной системы магнетрона формируется поток пучковой плазмы. Пучковая плазма используется для локальной плазменно-иммерсионной обработки и в газоразрядном источнике электронов для инициирования несамостоятельного тлеющего разряда. Разработано интегрированное плазменное устройство, включающее планарный несбалансированный магнетрон и электродную систему плазменного широкоапертурного источника электронов.

Получены экспериментальные образцы плазменно-иммерсионной обработки. Полученные результаты не противоречат ожидаемым.

Ключевые слова: *плазменно-иммерсионная технология, ионно-плазменная технология, ионно-лучевая технология, высокоинтенсивная низкоэнергетичная ионная имплантация, несамостоятельный тлеющий разряд, планарная несбалансированная магнетронная распылительная система, ионный источник з замкнутым дрейфом электронов, широкоапертурный источник электронов, полый катод.*

1. *Морозов А. И.* Введение в плазмодинамику. М.: Физматлит. 2006. 576 с.
2. *Anders Andre*. From Plasma Immersion Ion Implantation To Deposition: A Historical Perspepective on Principles and Trends. URL:https://www.semanticscholar.org/paper/
3. *Аксенов И. И., Андреев А. А., Белоус А.* и др. Вакумная дуга. Источники плазмы, осаждение покрытий, поверхностное модифицирование. Киев: Наукова думка, 2012. 727 с.
4. *Свадковский И. В.* Направления развития магнетронных распылительных систем. Доклады БГУИР. 2007. № 2(18). С. 112–121.
5. *Ивановский Г. Ф., Петров В. И.* Ионно-плазменная обработка материалов. М.: Радио и связь, 1986. 232 с.
6. *Карпов Д. А., Литуновский В. Н.* Плазменно-иммерсионная ионная имплантация (ПИИИ): физические основы, использование в технологиях. СПб.: ФГУП “НИИЭФА им. Д.В. Ефремова”, 2009. 62 с.
7. *Levchuk D.* Plasma assisted techniques for deposition of superhard nanocomposite coatings. 2007. Vol 201. P. 6071–6077. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.08.113
8. *Данилин Б. С., Киреев В. Ю.* Применение низкотемпературной плазмы для травления и очистки материалов. М.: Энергоатомиздат, 1987. 263 с.
9. *Габович М. Д., Плешивцев Н. П., Семашко Н. Н.* Пучки ионов и атомов для управляемого термоядерного синтеза и технологических целей. М.: Энергоатомиздат, 1986. 248 с.
10. *Маишев Ю. П., Виноградов М. И.* Вакуумные процессы и оборудование ионно- и электронно-лучевой технологи. М.: Машиностроение, 1989. 56 с.
11. *Белый А. В., Кукареко В. А., Лободаева О. В.* и др. Ионно-лучевая обработка металлов, сплавов и керамических материалов. Минск: ФТИ, 1998. 218 с.
12. Method and apparatus for magnetically enhanced sputtering: Patent US 6296.742: МПК C23C14/35; H01J37/34; H03K3/57 / *Kouznetsov Vladimir*. US19990393294; 19990910; 02.10.2001.

13. *Кузьмичев А. И.* Импульсные магнетронные распылительные системы. Сб. трудов Харьковской научной ассамблеи ISTFE-14. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2014. С. 221–244.
14. *Гришкевич А. Д., Гринюк С. И., Кучугурный Ю. П.* Технологческие плазменные устройства на основе разряда с замкнутым дрейфом электронов. Техническая механика. 2013. №4. С. 43–57.
15. *Рогов А. В., Капустин Ю. В., Мартыненко Ю. В.* Факторы, определяющие эффективность магнетронного распыления. Критерии оптимизации. ЖТФ. 2015. Т. 85. Вып. 2. С. 126–134. https://doi.org/10.1134/S1063784215020206
16. *Арзамасов Б. Н. Братухин Б. Н., Елисеев Ю. С. и др.* Ионная химико-термическая обработка сплавов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. 400 с.
17. *Штулингер Э.* Ионные двигатели для космических полетов. М: Воениздат, 1966. 343 с.
18. *Гончаров Л. А., Григорьян В. Г.* Источники ионов для операций ионно-лучевой технологи. Прикладная физика. 2007. № 5. С. 67–70.
19. *Окс Е. М.* Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения. Томск: Изд-во НТЛ, 2005. 216 с. https://doi.org/10.1002/3527609415
20. *Гаврилов Н. В., Меньшаков А. И.* Влияние параметров электронного пучка и ионного потока на скорость плазменного азотирования аустенитной нержавеющей стали. Журнал технической физики. 2012. Т. 82. Вып. 3. С. 88–93. https://doi.org/10.1134/S1063784212030073
21. *Борисов Д. П., Детистов К. Н., Ежов В. В. и др.* Вакуумный технологический комплекс «Спрут» для формирования высококачественных упрочняющих поверхностных структур изделий плазменными магнетронно-дуговыми методами. 8-я международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», 23–25 сентября 2009 г., Минск, Беларусь. С. 299–301.
22. Способ упрочнения изделий из металлов: патент РФ № 2070607: МПК C23C8/36 / *Атаманов М. В., Веселовзоров А. Н., Гордеева Г. В., Гусева М. И., Дергачев В. А., Неумоин В. Е., Погорелов А. А.* 92014611/02; заявл. 25.12.1992; опубл. 20.12.1996.

Получено 13.05.2019,
в окончательном варианте 20.09.2019