

УДК 539.231

**Исследование процесса напыления DLC покрытий
с помощью импульсно-дугового испарителя**А.В. Гавриленко

Научный руководитель: к.т.н., Ю.Н. Юрьев
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634034
E-mail: avg87@tpu.ru

Investigation of the process of spraying DLC coatings using a pulsed arc evaporatorA.V. Gavrilenko

Scientific Supervisor: Ph.D., Y.N. Yuriev
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634034
E-mail: avg87@tpu.ru

Abstract. *The article discusses the process of applying a DLC coating using a pulsed arc evaporator, as well as the effect of the electrical characteristics of the pulsed arc on the properties of the resulting DLC coatings. It is shown that, with an increase in the storage voltage, the current strength increases. However, the pulse frequency has little effect on the current strength and shape of the graph. After a series of depositions of DLC coatings under different operating conditions, it was found that a coating obtained at 200V storage voltage and 2Hz pulse frequency had greater hardness and flexibility, respectively: $68.8 \pm 8.1 \text{ GPa}$ and $511 \pm 66 \text{ GPa}$.*

Key words: *DLC, pulsed arc evaporator, hardness, flexibility.*

Введение

Исследование процесса напыления алмазоподобных покрытий (DLC – diamond-like carbon) с помощью импульсно-дугового испарителя представляет собой важную тему в области поверхностной модификации материалов. DLC покрытие является полезным благодаря своей твёрдости, химической инертности и износостойкости. Применение DLC покрытий распространено в различных отраслях, включая машиностроение, авиацию, медицинскую технику и электронику, где требуется защита от износа и коррозии, а также высокая твёрдость[1]. Импульсно-дуговой испаритель является эффективным методом нанесения DLC покрытий, позволяющим достичь высокой адгезии и однородности покрытия. Этот процесс основан на испарении углеродной мишени и последующем осаждении атомов углерода на подложку, что способствует образованию покрытия с желаемыми свойствами[2]. Исследование данного процесса позволяет лучше понять процесс получения DLC покрытий, оптимизировать процесс напыления для повышения качества и прочности DLC покрытия.

Целью настоящей работы является исследование процесса напыления DLC покрытий с помощью импульсно-дугового испарителя.

Экспериментальная часть и результаты

Вся работа проводилась на установке оснащённой ионным источником, импульсно-дуговым испарителем с углеродной мишенью, дуговым испарителем с титановой мишенью, а также паромасляным диффузионным насосом и пластинчато-роторным насосом. Сначала были изучены электрические характеристики импульсно-дугового испарителя в разных режимах работы, а именно напряжение накопителя и сила тока. Результаты будут представлены далее.

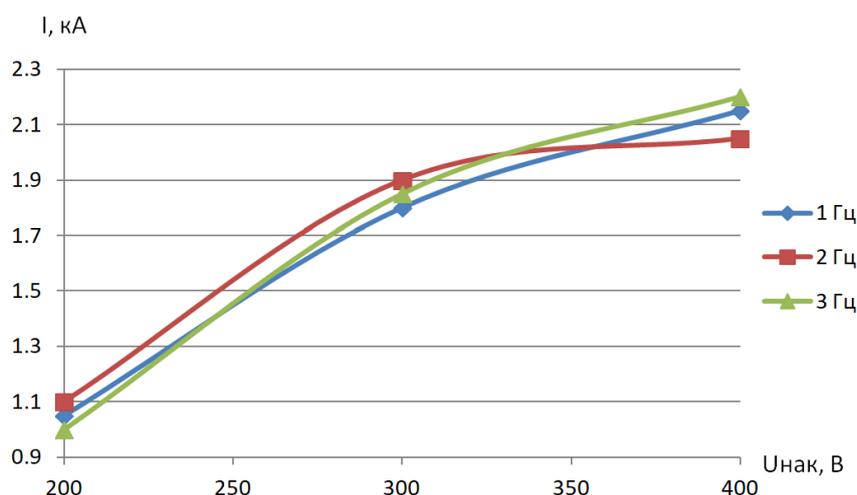


Рис. 1. Зависимость силы тока от напряжения накопителя и частоты импульсов

На данном графике видно, что при увеличении напряжения накопителя, увеличивается сила тока, при этом частота импульса имеет малое значение для силы тока и формы графика. Зависимость близка к линейной, но таковой не является. Форма импульса одинакова во всех режимах работы, как и длительность жизни импульса – 0,45 мс. Далее проводилось исследование зависимости характеристик, полученных DLC покрытий от напряжения накопителя и частоты импульсов. Выбраны были следующие режимы работы:

Таблица 1

Режимы работы напыления DLC покрытий

№	Напряжение, В	Частота импульсов, Гц
1	200	1
2	200	2
3	200	3
4	300	1
5	300	2
6	300	3
7	400	1
8	400	2
9	400	3

Цикл получения покрытия был следующим: Получение вакуума до $2 \cdot 10^{-3}$ Па, чистка ионизирующим излучением, чистка дуговым испарителем с титановой мишенью, напыление подслоя титана, напыление DLC покрытия. Стальные подложки были закреплены на подложкодержателе на орбитальной карусели для равномерной обработки и модификации поверхности. Было получено 9 DLC покрытий в разных режимах работы, определены их значения твёрдости и упругости. Результаты будут представлены в виде таблицы далее.

Таблица 2

Значения твёрдости и упругости полученных DLC покрытий

№	Твёрдость, ГПа	Упругость, ГПа
1	53,5±6,8	394±49
2	52,9±7,4	391±48
3	51,1±6,2	386±41
4	63±8,7	467±73
5	65±8,1	470±60
6	62,9±10,0	486±83
7	63±7,7	468±55
8	68,8±8,1	511±66
9	61,7±8,4	446±51

Самой низкой твёрдостью и упругостью обладают DLC покрытия, полученные при напряжении накопителя в 200 В. Самой высокой твёрдостью и упругостью, обладает покрытие, полученное при частоте импульсов в 2 Гц и напряжении накопителя в 400 В.

В дальнейшем планируется измерение энергии налетающих атомов углерода на подложку и нахождение зависимости с характеристиками полученных DLC покрытий. Предполагается, что самыми важными факторами является энергия налетающих атомов углерода и электрические характеристики импульсно-дугового испарителя.

Заключение

В результате данной работы были исследованы электрические характеристики импульсно-дугового испарителя, а также проведён ряд осадений DLC покрытий при разных режимах работы. Получены значения твёрдости и упругости полученных покрытий, наибольшей твёрдостью и упругостью обладает покрытие, полученное при напряжении накопителя в 400 В и частоте импульсов в 2 Гц. Наименьшей твёрдостью и упругостью обладают покрытия, полученные при напряжении накопителя в 200 В. Данные результаты, говорят о прямой зависимости характеристик DLC покрытий от электрических характеристик импульсно-дугового испарителя. Данное исследование позволит прогнозировать характеристики DLC покрытий, вследствие чего и регулирование характеристик DLC покрытий [3].

Список литературы

1. Diamond-Like Carbon Coatings. – Текст: электронный // www.acreetech.com: сайт. – URL: <https://acreetech.com/dlc-coatings/> (дата обращения: 02.04.2024).
2. Diamond-like carbon coating under oleic acid lubrication: Evidence for graphene oxide formation in superlow friction. – Текст: электронный // www.nature.com: сайт. – URL: <https://www.nature.com/articles/srep46394> (дата обращения: 02.04.2024).
3. Rajak, D.K.; Kumar, A.; Ajit, B.; Menezes, P.L. Diamond-Like Carbon (DLC) Coatings: Classifications, Properties, and Applications // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 11, № 1. – P. 4445. <https://doi.org/10.3390/app11104445>