

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛИБДЕНОВОЙ ПОДЛОЖКИ УСТАНОВКИ ГАЗОПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

МАРТЫНОВ С.А., ЛУКЬЯНОВА В.П.,
ЛУЧАНИНОВ А.А., ХАЖМУРАДОВ М.А.

Рассматриваются условия реализации стационарного теплового режима подложки путем задания параметров системы охлаждения в установке газоплазменного напыления алмазного покрытия. Такие условия формулируются в виде оптимизационной задачи математического программирования с поиском экстремума целевой функции путем варьирования управляемыми параметрами в пределах допустимой области.

Ключевые слова: алмазное покрытие, газоплазменное напыление, система охлаждения, целевая функция, управляемые параметры.

Key words: diamond coating, gas-plasma depositions, cooling system, objective function, controlled parameters

1. Введение

Плазменное нанесение покрытий относится к прогрессивным технологиям, которые позволяют с высокой эффективностью повышать надежность и долговечность деталей машин и инструментов. Алмазные покрытия обладают высокой твердостью и износостойкостью. Метод газоплазменного напыления привлекателен тем, что позволяет осаждать такие покрытия с рекордно высокой скоростью. Эффективность синтеза алмазного покрытия зависит как от параметров плазменного потока, так и от обеспечения однородного распределения температуры $\sim 800\div 900^\circ\text{C}$ на поверхности подложки, на которой осаждается покрытие (рис. 1). При заданной мощности потока плазмы требуемый тепловой режим подложки определяется параметрами системы охлаждения.

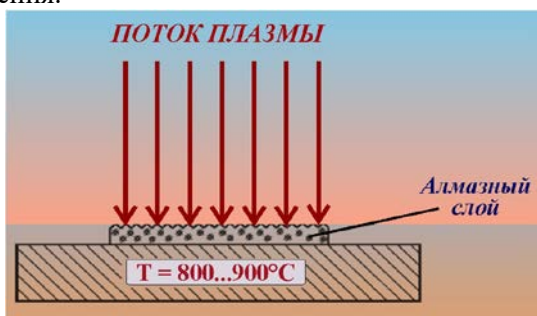


Рис. 1. Схема процесса получения алмазных покрытий газоплазменным методом

Целью работы является нахождение параметров системы охлаждения установки газоплазменного напыления, при которых в процессе синтеза алмазного покрытия на молибденовой подложке реализуется однородность распределения температуры по поверхности подложки в заданном диапазоне температур.

2. Оптимизация системы охлаждения подложки

Одним из направлений исследований процесса синтеза алмазных покрытий является оптимизация системы охлаждения для поддержания заданного теплового режима молибденовой подложки в установках газоплазменного напыления. Задача оптимизации формулировалась как математическое программирование – поиск экстремума целевой функции путем варьирования управляемыми параметрами в пределах допустимой области.

$$\text{extr}F(X), D_x = \{X / \varphi(x) > 0, \psi(x) = 0\} \\ x \in D_x$$

где $F(X)$ – целевая функция; X – вектор управляемых параметров; $\varphi(x)$ и $\psi(x)$ – функции ограничения; D_x – допустимая область в пространстве управляемых параметров.

Запись интерпретируется как задача поиска экстремума целевой функции путем варьирования управляемых параметров в пределах допустимой области. Функция цели – распределение температуры поверхности молибденовой подложки по радиусу. Функция ограничений $\varphi(x)$ – диапазон температур $\sim 800\div 900^\circ\text{C}$. Для решения задачи в среде SolidWorks разработана модель системы охлаждения молибденовой подложки (рис. 2).

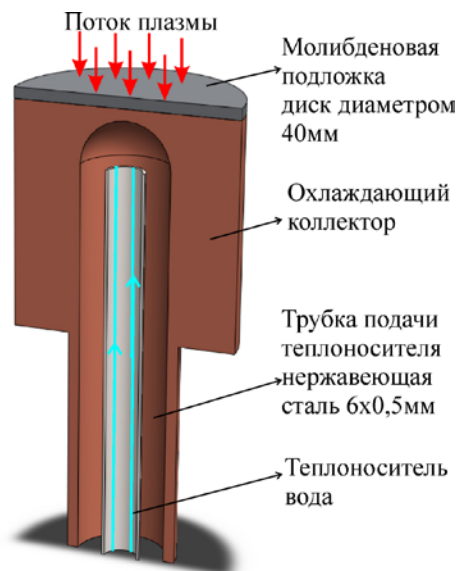


Рис. 2. Упрощенная геометрическая модель системы охлаждения молибденовой подложки

Основные параметры модели: коллектор – цилиндр диаметром 40 мм; подложка диаметром 40 мм, материал – молибден; водоохлаждающая полость – цилиндр диаметром 20 мм со сферической вершиной; подача теплоносителя (вода) – через трубку из нержавеющей стали диаметром $6 \times 0,5$ мм; температура окружающей среды –

20°C; интегральная мощность плазменного потока – 5000 Вт.

Управляемые параметры: толщина молибденовой подложки – (1 и 0,1 мм); материал коллектора охлаждения – (медь, цинк, сталь); скорость потока воды в коллекторе охлаждения – 1; 0,5; 0,08; 0,012 л/с; зазор (расстояние между вершинной сферы водоохлаждающей полости и подложкой) – 2; 0,2 мм; распределение плотности теплового потока по поверхности подложки – равномерное, по Гауссу.

Задача решалась методами прямого поиска с использованием модуля FlowSimulation лицензионного пакета SolidWorks,

3. Результаты моделирования

На рис. 3-5 приведены распределения температуры по поверхности подложки, рассчитанные в некоторых из вариантов системы охлаждения.

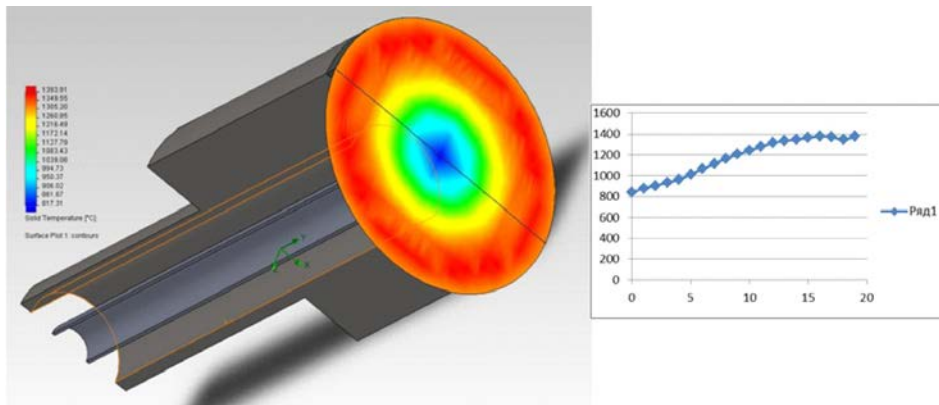


Рис. 3. Материал коллектора – сталь. Распределение тепла равномерное. Расход воды – 1 л/с

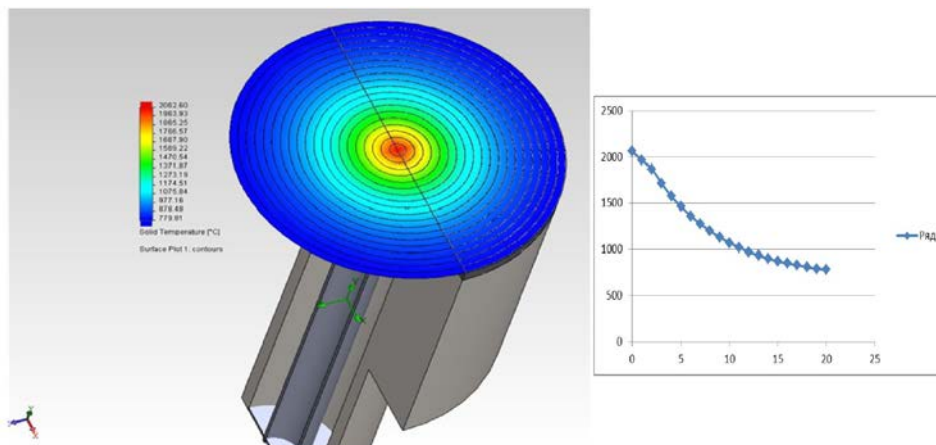


Рис. 4. Материал коллектора – сталь. Распределение тепла по Гауссу. Расход воды – 1 л/с. Зазор – 0,2 мм

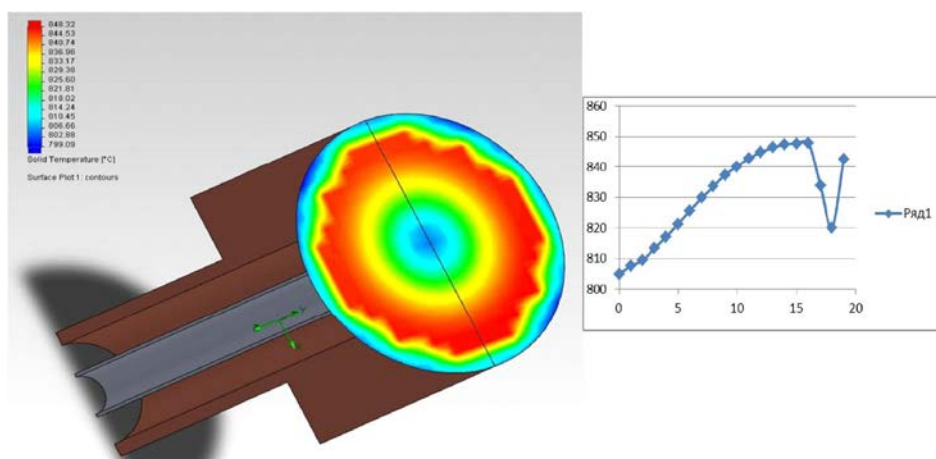


Рис. 5. Материал коллектора – медь. Распределение тепла равномерное. Расход воды – 0,012 л/с

Как видно, наиболее приемлемый из рассмотренных в работе вариантов системы охлаждения, который обеспечивает однородность температуры на поверхности подложки, предусматривает задание следующих параметров: равномерное распределение плотности мощности плазменного потока на поверхности молибденовой подложки, расход воды – 0,012 л/с, материал коллектора – медь, толщина подложки – 0,1 мм. При этом температура поверхности составляет (805 – 850)°С.

Дальнейшего уменьшения неоднородности распределения температуры на поверхности молибденовой подложки в рассмотренной геометрической модели системы охлаждения можно достичь путем дополнительного нагрева внешней части охлаждающего коллектора до температуры ~ 800°С либо путем использования коллектора из композиционного материала с изменяющейся вдоль радиуса теплопроводностью, либо комбинацией этих факторов.

4. Выводы

Проведено математическое моделирование системы охлаждения подложки в установке для газоплазменного напыления алмазных покрытий. Результаты моделирования позволяют сделать следующие выводы. Наиболее приемлемый из рассмотренных в работе вариантов системы охлаждения, который обеспечивает наилучшую однородность температуры на поверхности подложки, предусматривает задание следующих параметров: равномерное распределение плотности мощности плазменного потока на поверхности молибденовой подложки; расход воды – 0,012 л/с; материал коллектора – медь; толщина подложки – 0,1 мм. При этом распределение температуры по поверхности находится в диапазоне (805 – 850)°С. Полученные результаты имеют практическое значение для создания высокоэффективных технологий синтеза алмазных покрытий на больших площадях.

Литература:

1. *Kurihara K., Sasaki K., Kawarada M., Koshino N.* High rate syntesis of diamond by DC plasma jet chemical vapor deposition // *Appl. Phys. Lett.* 52 (1988) 437-438.
2. *Karner, Pedrazzini M., Hollenstein C.* High current d.c. arc (HCDCA) technique for diamond deposition. *Diamond Relat. Mater* 5 (1996) 217-220.
3. *Lu F.X., Zhong G.F., Sun J.G., Fu Y.L., Tang W.Z., Wang J.J., Li G.H., Zhang J.M., Pan C.H., Tang C.X., Lo T.L., Zhang Y.G.* A New Type of DC Arc Plasma touch for Low Cost Large Area Diamond Deposition. *Diamond Relat. Mater.* 7(1998)737-741.

4. *Aksenov I.I., Vasil'ev V.Y., Strel'nitskij V.E., Shulaev V.M. and Zalesskij D.* Yu. Arc Discharge Plasma Touch for Diamond Coating Deposition. *Diamond Relat. Mater.* 3(1994). P. 525 527.

Поступила в редколлегию 12.05.2018

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Хаханов В.И.

Мартынов Сергей Алексеевич, канд. техн. наук, ННЦ ХФТИ. Научные интересы: имитационное моделирование ядерно-физических процессов. Адрес: Украина, 61108, Харьков, ул. Академическая, 1, e-mail: khazhm@kipt.kharkov.ua.

Лукьянова Валентина Петровна, ведущий инженер-программист ННЦ ХФТИ. Научные интересы: математическое моделирование. Адрес: Украина, 61108, Харьков, ул. Академическая, 1, e-mail: khazhm@kipt.kharkov.ua.

Лучанинов Александр Андреевич, канд. физ.-мат. наук, ННЦ ХФТИ. Научные интересы: плазменные технологии. Адрес: Украина, 61108, Харьков, ул. Академическая, 1, e-mail: luchaninov@kipt.kharkov.ua

Хажмурадов Манап Ахмадович, д-р техн. наук, профессор ННЦ ХФТИ. Научные интересы: методы Монте-Карло, математическое моделирование, автоматизированные системы управления. Адрес: Украина, 61108, Харьков, ул. Академическая, 1, тел.: +38(057)335-68-46, e-mail: khazhm@kipt.kharkov.ua.

Martynov Sergey Alekseevich, PhD, National Science Center "Kharkov Institute of Physics and Technology" (NSC KIPT). Research interests: simulation of nuclear physical processes. Address: Ukraine, 61108, Kharkov, Akademicheskaya st, 1, e-mail: khazhm@kipt.kharkov.ua.

Lukyanova Valentina Petrovna, leading software engineer, NSC KIPT. Research interests: simulation of nuclear physical processes. e-mail: khazhm@kipt.kharkov.ua.

Luchaninov Alexander Andreevich, PhD, NSC KIPT. Research interests: plasma technology. e-mail: luchaninov@kipt.kharkov.ua.

Khazmuradov Manap Akhmadovich, Dr. Tech. Sciences, Professor, NSC KIPT. Scientific interests: Monte-Carlo methods, mathematical modeling, automated control systems. Address: Ukraine, 61108, Kharkov, Akademicheskaya st, 1, tel.: +38(057)335-68-46, e-mail: khazhm@kipt.kharkov.ua.