

А. Г. Любимов, доц., канд. техн. наук;
 О. Б. Кубрак, доц., канд. хим. наук (БГТУ г. Минск);
 Г. В. Горохов, мл. науч. сотр. (НИИ Ядерных проблем БГУ)

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ В СВЧ ДИАПАЗОНЕ

Получение дешевых и легких изделий является весьма актуальной задачей для применений в компонентах микроволновой оптики, мобильных приложений, изделий для аэрокосмической отрасли.

Для решения данной задачи представляется целесообразным получение электропроводящих поверхностей путём нанесения металлических покрытий на поверхность пластмассовых изделий. При серийном производстве полимерных изделий с гальваническим покрытием может быть достигнута экономическая выгода по сравнению с производством их металлических аналогов.

Целью данной работы было исследование возможности создания электропроводящего покрытия на изделиях, полученных с помощью различных технологий 3D-печати и исследование этих покрытий в СВЧ-диапазоне.

В таблице представлены полученные образцы. Образцы представляли собой пластины толщиной 1 мм. Для нанесения покрытий и их дальнейшего исследования использовались лицевые поверхности образцов, поскольку поверхность обратной стороны дефектна ввиду присутствия на ней поддержек, необходимых для 3D-печати. Поскольку технология FDM дает наиболее грубую поверхность, один из образцов дополнительно обрабатывался ацетоном, что позволило снизить шероховатость поверхности. Для других образцов дополнительная обработка не производилась.

Таблица – Параметры образцов

Технология	Принтер	Материал	Толщина слоя, <u>мкм</u>
FDM	<u>Stratasys Fortus 450MC</u>	ASA	256
DLP	<u>Flashforge - Hunter</u>	<u>ClearResin</u>	25
<u>PolyJet</u>	<u>Stratasys J735</u>	<u>VeroClear</u>	14

Исследуемые образцы подвергались химическому обезжириванию в водном растворе, содержащем тринатрийфосфат – 25 г/дм³, карбонат натрия – 25 г/дм³, ОС-20 – 5 г/дм³. Далее проводили декапирование в 5 % растворе H₂SO₄; палладиевую активацию в растворе

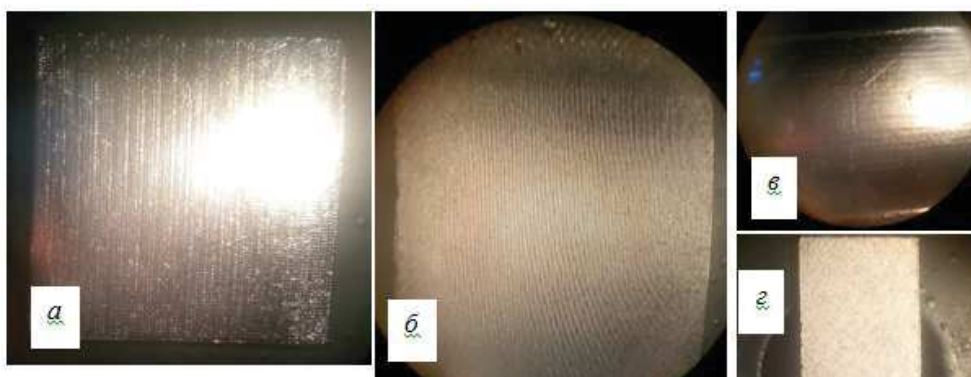
SnCl_2 – 25–30 г/дм³, PdCl_2 – 0,3 г/дм³, HCl – 150 г/дм³ и акселерацию в растворе NaOH – 25 г/дм³. Нанесение тонкого слоя химической меди проводили из раствора – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – 15 г/дм³, Трилон Б – 25 г/дм³, NaOH – 8–10 г/дм³, формалин – 3–4 г/дм³. Далее следовала гальванозатяжка в стандартном сульфатном растворе электрохимического меднения до необходимой толщины медного подслоя. Завершающей стадией являлось электрохимическое никелирование в электролите Уоттса с органическими добавками. Между всеми операциями осуществлялась промывка образцов в дистиллированной воде.

Необходимое время осаждения гальванического покрытия (τ) рассчитывалось с использованием уравнения Фольмера по формуле:

$$\tau = \rho \cdot \delta / (q \cdot i \cdot \text{Вт}),$$

где ρ – плотность металла покрытия, г/дм²; δ – толщина покрытия, дм; q – электрохимический эквивалент металла покрытия, г/А·ч; i – плотность тока, А/дм²; Вт – выход по току металла.

Для приготовления рабочих использовались компоненты марки хч. Гальванические операции проводились с использованием двух-электродной электрохимической ячейки, подключенной к источнику постоянного тока Б5-78/6. На рисунке 1 представлены изображения полученных поверхностей.



а – PolyJet; б – FDM; в – FDM поверхность обработана ацетоном; г – DLP

Рисунок 1 – Оптическая микроскопия полученных покрытий

Коэффициенты отражения металлизированных образцов, были измерены с помощью векторного анализатора Микран Р4М, укомплектованного прямоугольным волноводом сечением 16 x 8 мм в диапазоне 12 – 18 ГГц. Металлизированный образец фиксировался на торце волноводного отрезка, предварительно откалиброванном с помощью эталонной меры отражения.

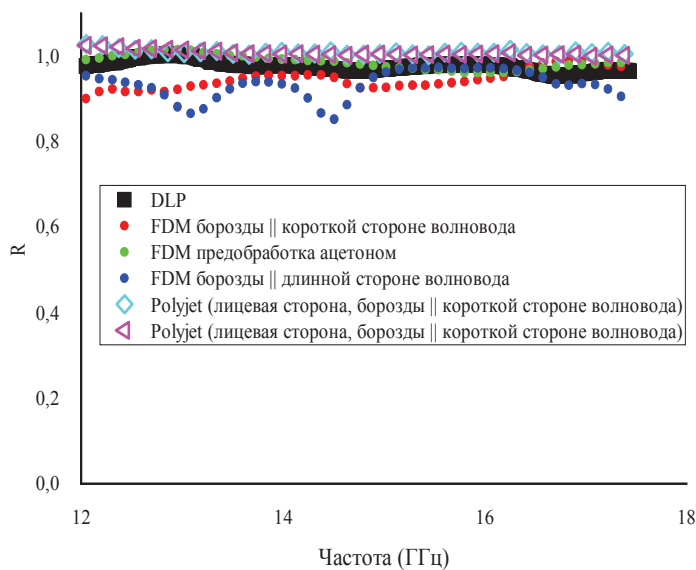


Рисунок 2 - Коэффициенты отражения, металлизированных образцов

в волноводе (ось поляризации направлена параллельно короткой стороне волновода) такие образцы измерялись в двух взаимно перпендикулярных ориентациях.

Образцы, изготовленные методом FDM без дополнительной обработки, продемонстрировали заметное различие коэффициента отражения в зависимости от ориентации рельефа поверхности, что существенно ограничивает применение таких отражателей. Также отражательная способность данных образцов является наихудшей среди всех исследованных, что указывает на необходимость получения существенно менее неоднородных поверхностей для последующей металлизации.

Образцы, полученные с помощью технологий DLP и Polyjet, а также FDM после обработки ацетоном, характеризуются существенно более близким к единице коэффициентом отражения. Химическая обработка поверхности деталей, изготовленных методом FDM, существенно затрудняет соблюдение геометрии компонентов волноводного тракта, что делает данный метод менее предпочтительным для решения данной задачи по сравнению с технологиями DLP и Polyjet.

Полученные данные в дальнейшем будут использованы для производства элементов волноводного тракта сложной конфигурации.

Измеренные значения коэффициента отражения исследованных образцов показаны на рисунке 2. Поверхности образцов, полученных методом FDM и, в существенно меньшей степени, Polyjet, покрыты параллельными бороздами, связанными с технологическими особенностями метода. Ввиду наличия поляризации излучения