

Рисунок 6

Если на стык действует еще и сила, расположенная в плоскости стыка. То это плоское движение можно представить как качение некоторой подвижной центроиды по неподвижной. Центроида - кривая, проведенная через мгновенные центры вращения. С какой силой нужно затянуть болты, чтобы стык был неподвижным. Это обеспечивается определенными по величине силами трения  $N \geq K \cdot \left( \frac{P}{f} + \frac{P \cdot L}{f \cdot a \cdot A} \right)$ ,  $f$ - коэффициент трения 0,15- 0,2,  $K$ - коэффициент запаса 1,3-2.

#### Литература

1. Телушкин В.Д. Соединения и детали машин для районов с холодным климатом. М., Машиностроение, 1978 – 196 с.

УДК 621.793

### **Защита полимерных изделий от радио и электромагнитного излучения металлическими покрытиями, получаемыми гиперзвуковой металлизацией**

Студент гр. 10303120 Линник П.Ф.,

Научные руководители – ассистент Кот П.И., ст. пр. Кришталь С.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

**Аннотация.** В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований показана возможность формирования

металлических покрытий на термопластичных полимерах методом гиперзвуковой металлизации. Определено влияния толщины металлического покрытия на величину отражения радио и электромагнитных волн.

### **Введение. Цель исследования.**

В настоящее время появились огромные перспективы применения беспилотных аппаратов как для гражданских (логистика, строительство, сельское хозяйство и др.), так и военных целей. Многие страны мира активно занимаются разработкой и совершенствованием беспилотного транспорта – от миниатюрных квадрокоптеров для личных целей до тяжелых ударных машин – дронов (рисунок 1).

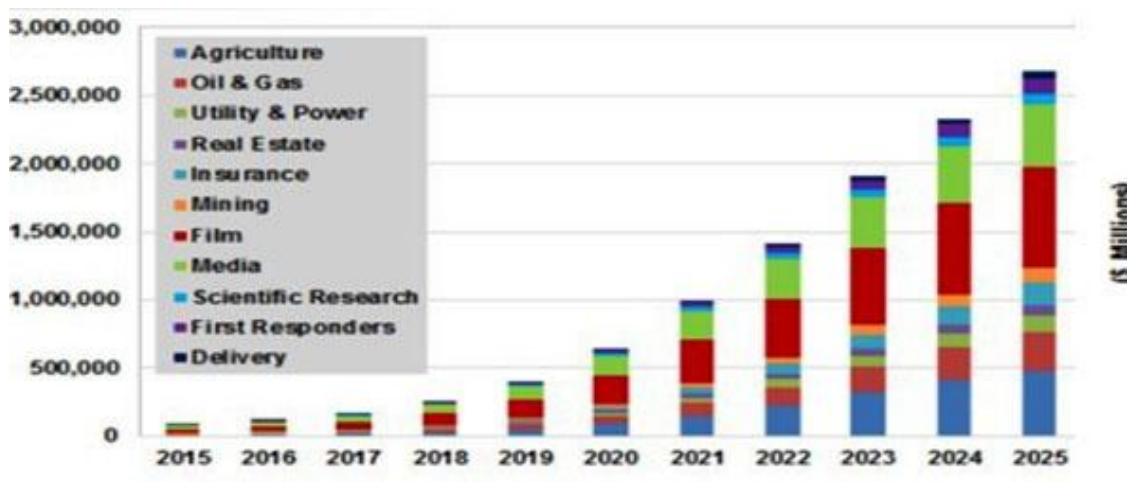


Рисунок 1. Рост продаж по годам дронов для коммерческого применения (штук) [1]

Беспилотник (БПА) можно вывести из строя, если во время работы нарушить работу его бортовых датчиков, забить каналы связи, передачи данных и контроля, заглушить сигналы системы GPS, от чего БПА становится слепым и беспомощным. Информационное подавление с помощью систем радиоэлектронной борьбы стандартными, хорошо отработанными способами, а также с помощью новейших электронных технологий кибератак (рисунок 2).

Один из важнейших вопросов современной науки в сфере проектирования БПА является предотвращения кибератак и радиоэлектронного взлома, минимизация обнаружения радаром аппарата. В связи с этим разработка композиционных материалов и покрытий, способных отражать радиоэлектронные и магнитные волны является весьма важной задачей.

Эффективным направлением получения изделий с заранее заданными физико-механическими свойствами (высокая радио-электромагнитная защита) может являться использование газотермических технологий путем формирования металлических или композиционных покрытий относительно больших толщин на полимерных подложках. Помимо защитных характеристик такая технология позволит значительно снизить массогабаритные показатели изделий. При этом необходима разработка таких технологических приемов формирования покрытий на полимерах, которые бы обеспечили их толщину 0,2 – 1,5 мм при адгезии не ниже 4 МПа, т.е. позволили бы сохранить определенную механическую прочность.



Рисунок 2. Различные виды электромагнитного оружия для борьбы с БПА

Одним из наиболее перспективных способов получения металлических покрытий является гиперзвуковая металлизация (ГМ). Нанесение покрытий данным способом осуществляется путём распыления расплава, полученного в результате плавления двух проволок электрической дугой, с помощью высокоскоростной струи продуктов сгорания воздушно-пропановой смеси.

Главной отличительной особенностью ГМ является наличие малогабаритной высокоэффективной камеры сгорания воздушно-пропановой смеси, сверхзвуковая струя которой имеет на выходе скорость 1500 м/с при температуре 1850 °С. Это позволяет частицам расплавленного металла разогнаться в потоке до 500 м/с и формировать покрытие, имеющее плотность и прочность сцепления в 2–3 раза выше, чем при традиционной электродуговой металлизации.

**Оборудование, материалы и методы исследований.** Процесс гиперзвуковой металлизации осуществлялся на установке АДМ-10 при использовании пропано-воздушной смеси для формирования распыляющего факела.

Для нанесения покрытий использовались проволоки из никеля марки НП2 (ГОСТ 2179-75), цинкоалюминия марки AERIS 1435 (ZnAl 15), цинка марки Ц1 (ГОСТ 13073-77), алюминия марки СВА-95, ER 5183 (Св 1557, ГОСТ 7871-75), меди марки М1 (ГОСТ 16130-90), стали Св08Г2С (ГОСТ 2246-70). В качестве материала подложек использовались пластины толщиной 4 – 7 мм из следующих термопластов: полистирола ПСМ – 115 (ГОСТ 20282-86), полиамида ПА-6 (ОСТ-6-06-09-93), армированного полиэстера (ГОСТ Р 50583-93).

Непосредственно перед процессом нанесения покрытия производилась предварительная подготовка поверхности полимерных образцов под напыление, заключающаяся в удалении окисной плёнки и загрязнений. Далее поверхность подготавливалась с помощью струйно-абразивной обработки, которая проводилась пистолетом эжекционного типа при рабочем давлении сжатого воздуха 0,6 МПа и расходе дроби 0,05 – 1,2 кг/с. Использовано несколько фракций стальной колотой дроби марки ДСК 0,3-2,0, ГОСТ 11964-81. Шероховатость поверхности оценивалась по высоте неровностей профиля Rz, которую измеряли по ГОСТ 2789-73 на профилометре модели 130 и на профилометре Mitutoyo SJ-210.

Кроме этого в рамках исследования произвели определения коэффициента отражения, при помощи устройства «Измеритель КСВН панорамный Р2-61». Данный аппарат предназначен для измерения и воспроизведения на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) частотных характеристик коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН, в формулах –  $K_{стU}$ ) и ослабления элементов волноводных каналов.

**Результаты исследований.**

Экранирующие характеристики были получены путем детектирования напряжения падающего, прошедшего и отраженного сигналов источника электромагнитного излучения при взаимодействии с исследуемым материалом. Измерения величины ослабления ЭМИ и коэффициента отражения осуществлялись с помощью панорамного измерителя коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) и ослабления Я2Р-67 с использованием генератора ГКЧ-61 в диапазоне 8...12 ГГц. Калибровка приборов осуществлялась во всем рабочем диапазоне частот по стандартной методике после установки диапазона качания частоты и уровня падающей мощности.

Коэффициент отражения  $K_{отр}$  определялся расчетным путем на основании полученных значений КСВН по формуле:

$$K_{отр} = 20lg \frac{КСВН - 1}{КСВН + 1}$$

Таблица 1

Результаты оценки коэффициента отражения.

№	Частота, ГГц	Котр, ДБ	№	Частота, ГГц	Котр, ДБ	№	Частота, ГГц	Котр, ДБ
№1 Толщина покрытия 100 мкм материал CuSi <sub>3</sub>			№2 Толщина покрытия 200 мкм материал CuSi <sub>3</sub>			№3 Толщина покрытия 300 мкм материал CuSi <sub>3</sub>		
1	8	0,735	1	8	2,435	1	8	0,142
2	8,5	0,709	2	8,5	1,486	2	8,5	-0,112
3	9	0,342	3	9	1,599	3	9	-0,220
4	9,5	0,466	4	9,5	1,623	4	9,5	0
5	10	0,480	5	10	1,533	5	10	0
6	10,5	-0,255	6	10,5	1,409	6	10,5	-0,255
7	11	0	7	11	1,486	7	11	0
8	11,5	0	8	11,5	1,541	8	11,5	0
9	12	0,457	9	12	1,455	9	12	-0,147

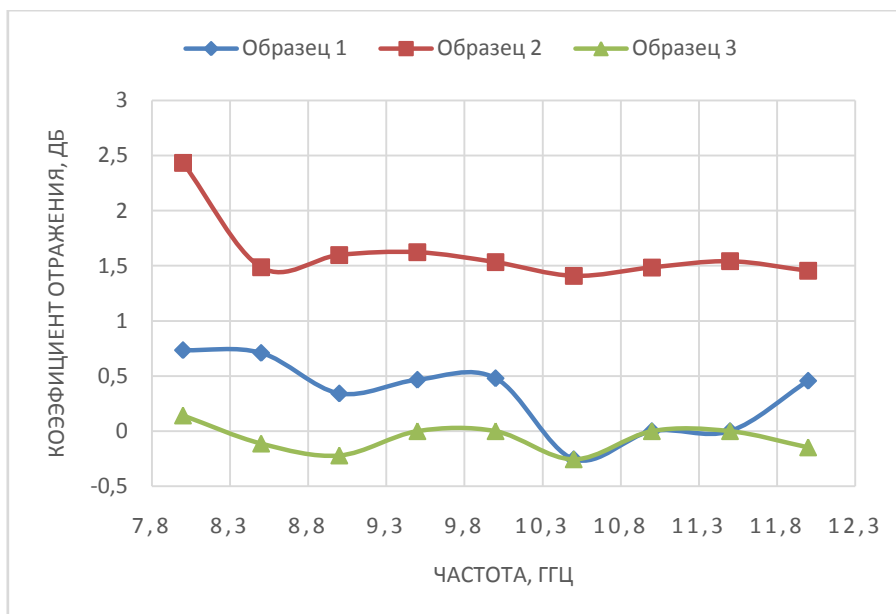


Рисунок 3. Зависимость коэффициента отражения от частоты импульса.

Как видно из графика все образцы обладают низкими значениями коэффициента отражения, однако практически полное отражение волн на всем диапазоне измерения 8...12 ГГц показал образец №3 получаемый напылением на полиамид 6 материала  $\text{CuSi}_3$  при давлении сжатого воздуха 0,3 МПа, давлении пропанбутановой смеси 0,32 МПа, напряжении дуги 33 В, толщиной покрытия 300 мкм. Как видно из графиков наблюдается прямая зависимость толщины покрытия от радиозащиты на диапазоне 8...12 ГГц.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод что ГМ является перспективным направлением для формирования металлических покрытий на термопластичных полимерах.

### Литература

1. W. Huang, X. Fan, Y. Zhao. Fabrication of Thermal Barrier Coatings onto Polyimide Matrix Composites Via Air Plasma Spray Process // Surface and Coating Technology, 2012, 207, p. 421–429.
2. G. Sun, X. He, J. Jiang, Y. Sun. A Study on the Deposition of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Coatings on Polymer Substrates by a Plasma Spray/Micro-Arc Oxidation Two-Step Method // Journal of Thermal Spray Technology, 2013, 22(1), p. 27–35.

3. HanqingChe, McGill, Phuong Vo, Stephen Yue. Investigation of Cold Spray on Polymers by Single Particle Impact Experiments // International conference proceedings ITSC – 2018, May 7-10, Orlando, Florida, p. 129–134.

4. Разработанное в США защитное покрытие EMI / RFI – равномерное экранирование // Электронный ресурс <http://www.flamesprayusa.com/thermal-spray-coatingelectronics.php> 02.02.2022.

5. Белоцерковский М.А. Развитие технологий активированного газопламенного напыления и электродуговой металлизации / В сб. Порошковая металлургия в Беларуси: вызовы времени : сб. научн. статей / ГНПО НАН Беларуси; редкол.: А.Ф. Ибющенко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2017. С. 400–413.

6. Белоцерковский М.А. Анализ теплонагруженности полимерной подложки при напылении металлических покрытий / М.А. Белоцерковский, А.В. Федаравичус // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия: материалы докл. 5 Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 18-19 сент. 2002 г. – Минск, 2002. С. 194–195.

7. Белоцерковский М.А. Нанесение полимерных композиционных покрытий и керамических покрытий на полимеры с использованием газопламенного напыления / М.А. Белоцерковский, А.В. Федаравичус // Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века: сб. науч. тр.: в 2 т. – Донецк, 1999. Т. 2. С. 77–79.

8. Белоцерковский М.А. Технологии формирования слоистых покрытий из разнородных материалов / М.А. Белоцерковский // Упрочняющие технологии и покрытия. 2009. № 3. С. 49–53.

### **Применение лазерного излучения в изготовлении зубчатых колес**

Студенты гр. 10603120 Кулинич И.В., Шетик Е.А.,

Научный руководитель – доцент Швец И.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Технология обработки зубчатых колёс занимает особое место в машиностроении, ведь одними из наиболее важных элементов механизмов являются зубчатые передачи. Вопрос об усовершенствовании качества зубчатых передач, исследование новых технологических возможностей для их изготовления остается, и долго еще будет оставаться, в центре внимания