

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЧАСТИЦ С ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Семкин Н.Д., Бай Юй

Состояние поверхности терморегулирующих покрытий ответственно за оптические характеристики. В реальных условиях эксплуатации терморегулирующие покрытия подвержены воздействию газовых и пылевых частиц, в результате чего на поверхности ТРП образуются пленки и множество пылинок. Кроме того, происходит облучение ТРП высокоскоростными частицами и ультрафиолетом. Некоторые факторы космической среды моделируются в лаборатории. Например, используя технологическую вакуумную установку для напыления и устанавливая инжектор высокоскоростных частиц, а также источники ультрафиолета и электронов совместно с системой регистрации, можно моделировать основные факторы космической среды.

Так, с помощью ускорителя взрывного типа можно получить на поверхности ТРП пленочное покрытие островковой структуры. Воздействия низкоскоростных и высокоскоростных частиц, внедряющихся в материал покрытия, а также пылинки, оседающие на поверхность ТРП после окончания взрывных процессов, приводит к изменению их оптических характеристик. Ниже рассматриваются эксперименты по облучению частицами ТРП с помощью ускорителя взрывного типа. С помощью взрывного ускорителя частицы имеют скорости $0,1 \dots 5 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ и массы $10^{-8} \div 10^{-10} \text{ г}$.

Блок-схема экспериментальной установки взрывного типа изображена на рис. 1. Она содержит вакуумную камеру, в которой устанавливается источник частиц 1, датчик для регистрации и измерения параметров потока пылевых частиц 2; на фиксированном расстоянии от источника 1 установлены исследуемые покрытия 3 и 3¹ (покрытие 3¹ находится под углом 80° к потоку частиц с целью изучения "косого удара"). В непосредственной близости от поверхности исследуемого покрытия установлены два электрода 4 в виде плоских пластин параллельно друг другу, на которые подано постоянное напряжение 200В. Пластины соединены с интегратором 4¹, выход которого соединен с запоминающим осциллографом 5 типа С8-17 и шлейфовым осциллографом 6.

Поджиг источника частиц осуществляется от устройства 7, генерирующего импульс напряжения. Источник частиц 1 представляет собой взрывчатое вещество - гексоген, в котором замешаны исследуемые частицы определенного материала (Al, W, Al₂O₃, C, Ti и т.д.), причем соотношение массы взрывчатого вещества и массы частиц составляет 5:1. Размеры частиц составляли 1-30 мкм. Результаты экспериментов помещены в таблицах 1 и 2. Масса гексогена составляла 9 граммов. Количество частиц

на 1 см^2 лежало в пределах $10^2 \div 5 \cdot 10^2$, в зависимости от их размеров. Количество частиц определялось с помощью алюминиевой фольги толщиной 20 - 30 мкм, установленной на одной линии с исследуемыми покрытиями, в непосредственной близости от них. Количество частиц на 1 см^2 (с учетом, их распределения по скоростям) пересчитывалось на поток $n \cdot V$. Начало процесса (взрыв источника частиц 1) фиксируется с помощью фотодиода 8, соединенного со входом запуска осциллографа 5.

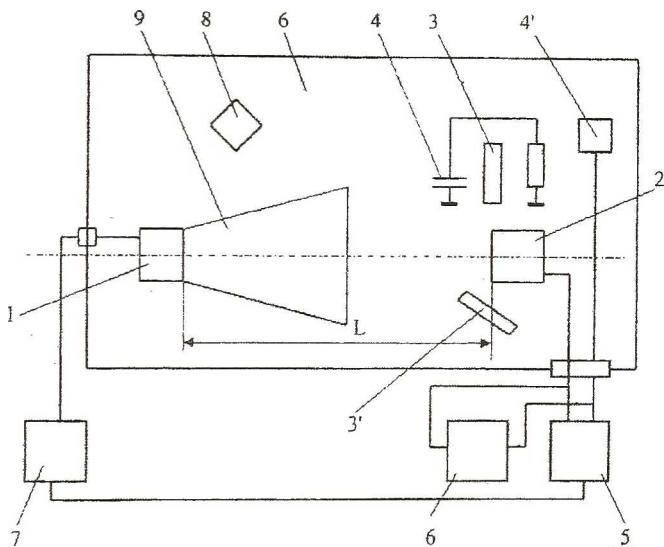


Рисунок 1 - Ускоритель взрывного типа :

1 - Табл.ВВ; 2 - регистратор частиц; 3 - мишень; 5,6 - осциллограф;
7 - устройство поджига; 8 - ФЭУ

Получение потока частиц с помощью взрывного метода ускорения довольно прост, хотя требует мощной вакуумной камеры и осторожности при работе с взрывчатыми веществами. Недостатком является возможность осаждения тончайшей пленки материала взрывчатого вещества. Чистый ударный эксперимент можно реализовать с помощью тонкой (5...20 мкм) алюминиевой фольги, загораживающей исследуемые покрытия. При этом скорость частиц при пробое ими фольги практически не уменьшается, если их размеры больше в 1,5-2 раза толщины фольги.

Заряд : 9гр, тетрил + 0,5 гр вольфрамовых частиц

вакуум: $1,2 \cdot 10^{-2}$ мм рт.ст.

скорость начала фронта частиц: 1,2 км/с

база: 1,8 м

плотность потока частиц: $0,7 \cdot 10^6$ част/см²·сек

Таблица 1 - Оптические характеристики ТРП

образец	Анодноокисное покрытие				чёрное		ЭМ - 40		МСН - 7			
	ε_0	ε_1	AS_0	AS_1	Sb %	S_H %	Sn %	Sc %	Sb %	S_H %	Sn %	Sc %
ε_0	0,86	0,84	0,85	0,85	0,94	0,94						
ε_1	0,897	0,852	0,852	0,833	0,94	0,95	0,91	0,91	0,87	0,9		
AS_0	0,2	0,19	0,19	0,19			0,15	0,15				
AS_1	0,67	0,625	0,6	0,64	0,032	0,036	0,57	0,58	0,72	0,76		
Sb %	0,09	0,2	0,1	0,17	0,1	0,07	0,07	0,23	0,07	0,09		
S_H %	0,3	0,2	0,12	0,2	0,27	0,22	0,28	0,25	0,14	0,4		
Sn %	7	9	7	7	7	7	7	7	7	7		
Sc %	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		

Таблица 2 - Оптические характеристики ТРП

образец	Анодноокисное покрытие				чёрное		ЭМ - 40		МСН - 7			
	ε_0	ε_1	AS_0	AS_1	Sb %	S_H %	Sn %	Sc %	Sb %	S_H %	Sn %	Sc %
ε_0	0,86	0,84	0,85	0,85	0,94	0,94						
ε_1	0,877	0,862	0,843	0,84	0,94	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85		
AS_0	0,2	0,19	0,19	0,19			0,15	0,15				
AS_1	0,717	0,73	0,717	0,73	0,038	0,038	0,43	0,43	0,65	0,69		
Sb %	0,3	0,2	0,26	0,28	0,26		0,33	0,45	0,7	0,4		
S_H %	0,13	0,4	0,26	0,26	0,22		0,17	0,16	1,9	1,1		
Sn %	9	7	9	9	9		9	9	9	9		
Sc %	1	1	1	1	1		1	1	1	1		

Заряд : 9 гр тетрил + 0,5 гр вольфрамовых частиц

вакуум: $5 \cdot 10^{-3}$ мм рт.ст.,

экран: 5 мкм

скорость начала фронта частиц: 2,2 км/с

база: 1м

плотность потока частиц: $1,3 \cdot 10^6$ част/см²сек.

Исследование терморегулирующих покрытий после облучения частицами проводилось с помощью оптического микроскопа МИМ-8А, а также электронного микроскопа типа РЭМ-100У

С помощью электронного и оптического микроскопов исследовались анодноокисные покрытия, покрытия типа МСН-7. Покрытия черные анодноокисные, ЭМ-40 не удалось исследовать с помощью оптического микроскопа, так как покрытие марки ЭМ-40 имеет большую шероховатость, и глубины резкости при большом увеличении оказывается недостаточной. На черной анодноокисной поверхности не просматриваются кра-

теры, частички грязи ни в косых, ни в поляризованных лучах из-за высоких значений коэффициента черноты.

Покрытия типа ЭМ-40, МСН-7 обладают высоким поверхностным сопротивлением, поэтому для анализа на них напылялись пленки серебра толщиной 0,5-1 мкм. Приведены исследования с помощью микроскопа РЭМ-100У, позволяющего просматривать элементы поверхности покрытия.

Проведенные оптические исследования позволили оценить площадь кратеров от высокоскоростных и низкоскоростных частиц. Увеличение для анодноокисных покрытий и МСН-7 составляло 320.

Производилось фотографирование 6-10 произвольно выбранных участков поверхности ТРП с общей площадью $(7-9) \cdot 10^{-3}$ см, затем подсчитывалась общая площадь низкоскоростных и высокоскоростных кратеров раздельно. Все кратеры, размеры которых меньше минимального размера частицы, являются продуктом сгорания взрывчатого вещества, то есть кратерами от частиц сажи. При исследовании покрытия ЭМ-40 увеличение устанавливалось равным 60, и по всей площади образца вычислялась площадь кратеров.

С помощью электронного микроскопа оценивалась площадь, занимаемая пылью. Для этого проводилось фотографирование 5-8 участков поверхности образца с увеличением 500-550 и находилось отношение площади, закрытой пылью, к общей площади образца.

Обозначения в таблице следующие:

ϵ исходный коэффициент черноты; ϵ_I коэффициент черноты после воздействия на образец частицами; A_{S0} - исходный коэффициент поглощения; A_{SI} коэффициент поглощения после воздействия; S_B (%) площадь кратеров от высокоскоростных частиц; S_H (%) - площадь кратеров от низкоскоростных частиц; S_n (%) - площадь, занятая пылью по отношению к площади образца; S_C (%) - площадь кратеров от сажи.

Как видно из таблицы, на светлых покрытиях после их облучения заданным потоком частиц коэффициент черноты возрастает.

У черных покрытий коэффициент черноты практически не меняется независимо от потока частиц.

Для анодноокисных покрытий коэффициент поглощения площади кратеров ($\eta = 360$) на 0.2 % от общей площади образца, а площади пыли на 2%.

Черные покрытия практически не меняют своих начальных значений коэффициентов ϵ и A_S после воздействия потока частиц. Для МСН-7 наблюдается уменьшение коэффициента черноты с увеличением общей площади кратеров.

Площадь кратеров у толстых покрытий значительно больше, чем у тонких, за счет скола кромки кратера.

Для покрытий ЭМ-40 и МСН-7 площадь кратеров возрастает на порядок при увеличении скорости фронта частиц примерно в два раза. Но при этом возрастает и количество крупных частиц, вызывающих увеличение кратеров. На рис.2 и рис.3 показаны кратеры, образованные соударением вольфрамовых частиц размером 5 мкм и скоростью $2,2 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}$ ($\times 1500$, покрытие МСН-7 и черное).

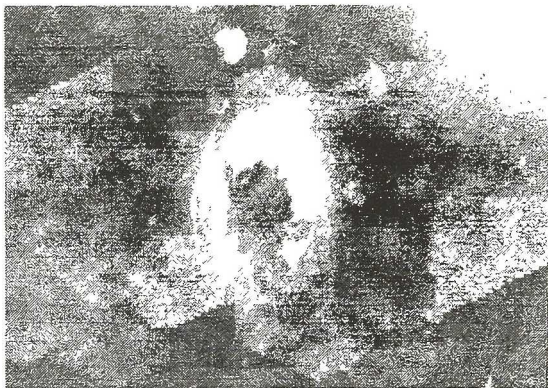


Рисунок 2 – Кратер от соударения вольфрамовой частицы размером 5 мкм и скоростью $2,2 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}$ ($\times 1500$, покрытие МСН-7).



Рисунок 3 – Кратер от соударением вольфрамовой частицы размером 5 мкм и скоростью $2,2 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}$ ($\times 1500$, покрытие черное).

Таким образом, если иметь в виду эксперимент с источником взрывного типа, то можно говорить о воздействии очень мелких частиц (продуктов взрыва), высокоскоростных и низкоскоростных частиц как основного объекта воздействия и пыли, оседающей на образцы покрытий после взрыва. Другими словами воздействие на исследуемые образцы покрытий в случае взрывного источника является сложным, так что выделение из общего потока только нужных нам частиц является сложной зада-

чей. Необходимо отметить, что исследование характеристик A_S и ϵ образцов покрытий как функций трех составляющих является само по себе интересной с практической точки зрения задачей. Получение "чистого" потока частиц (без сопутствующих загрязняющих веществ) требует другого ускорителя, на что и направлены в настоящее время основные усилия.

Другим источником пылевых частиц является электростатический ускоритель, который совместно с инжектором успешно используется в экспериментах по моделированию микрометеоритной пыли.

Как было показано выше, такой ускоритель является сложным устройством. Однако ускоритель такого типа является удобным инструментом для моделирования микрометеоритной пыли. Контроль параметров частиц может осуществляться индивидуально, при высокой степени разрежения.

С помощью ускорителя электростатического типа проведены эксперименты с терморегулирующими покрытиями на основе ZrO_2 .

УДК 669.713

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИСТЕЧЕНИЯ ВОЗДУХА ИЗ МОДУЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Ананьин А. А., Воронов К. Е., Занин А. Н.

Задачу определения параметров канала и струи, инициируемых разгерметизацией или пробоем обшивки КА твердыми частицами можно разбить на следующие этапы:

- 1) Условия истечения газа.
- 2) Расчет потока газа через различные типы отверстий без учета структуры потока
- 3) Определение параметров внутриканального потока газа.
- 4) Распространение звука в обшивке КА.
- 5) Определение параметров струи, истекающей из канала.

1. Условия истечения газа.

Течение в канале может быть турбулентным, переходным или ламинарным.

Развитая турбулентность в канале будет иметь место при числах Рейнольдса $Re > 10000$. Скорость потока u [м/с] в этом случае рассчитывается по формуле:

$$u = \sqrt{2 \frac{\chi}{\chi - 1} \frac{RT}{M} \left[1 - \left(p/p_0 \right)^{\frac{\chi - 1}{\chi}} \right]}, \quad (1)$$

где $\chi = C_{v, const} / C_{p, const}$ — отношение удельных теплоемкостей газа, для воздуха $\chi = 1,4$; R — универсальная газовая постоянная [Дж·К⁻¹·моль⁻¹]; T