

УДК 621.373.820

ЛАЗЕРНАЯ ПЕРФОРАЦИЯ ЭКРАННО-ВАКУУМНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ

© 2007 г. В. К. Сысоев, доктор техн. наук; П. А. Вятлев; А. В. Захарченко

НПО им. С.А. Лавочкина, г. Химки

E-mail: sysoev@berc.rssi.ru, sysoev@laspace.ru

В работе приводятся результаты процесса лазерной перфорации экранно-вакуумной теплоизоляции, показана его высокая эффективность. Анализируется использование различных типов инфракрасных лазеров для перфорации металлизированных полимерных пленок.

Коды OCIS: 350.3850, 140.3070.

Поступила в редакцию 12.09.2006.

Введение

Экранно-вакуумная теплоизоляция (ЭВТИ) предназначена для тепловой защиты космических аппаратов, химических реакторов от воздействия окружающей среды с целью уменьшения теплообмена и сохранения необходимых тепловых условий для успешной работы этих изделий [1].

Из всего разнообразия марок ЭВТИ (более 40) в данной работе рассматривается наиболее широко применяемая для космического приборостроения РАМ-2, состоящая из полиамидной пленки (толщиной 20 мкм), металлизированной алюминием (толщиной менее 0,5 мкм) и формованная с тканью на основе лавсана (толщиной около 500 мкм).

Для лучшего вакуумирования и защиты от электростатического разряда ЭВТИ необходимо перфорировать [1–3].

Существуют различные методы перфорации отверстий в ЭВТИ, чаще всего механические. При всей их простоте они обладают существенными недостатками: малой скоростью перфорации и низкой механической прочностью перфорированных таким способом пленок. В представленной работе рассматривается перфорация пленок ЭВТИ инфракрасным лазерным излучением.

Лазерная технология обработки различных материалов, в том числе металлизированных полимерных пленок, широко применяется в электронике [4–7]. Весьма близкой к целям данной работы является технология лазерной перфорации отверстий в бумаге и в полимерной пленке [7].

В нашей работе задача лазерной перфорации пленок ЭВТИ состояла в получении отверстий диаметром 1 мм с шагом 10 мм при сохранении (или

незначительном уменьшении) прочности перфорированных пленок.

Для перфорации использовались три лазерных источника, различающихся спектральными диапазонами и длительностью импульса излучения:

АИГ: Nd – $\lambda = 1,06$ мкм, $\tau = 3000$ мкс (Квант-155);

Er: YAG – $\lambda = 2,94$ мкм, $\tau = 300$ мкс;

ТЕА CO₂ – $\lambda = 10,6$ мкм, $\tau =$ мкс (Infralight-200).

Выбор этих лазеров для исследования перфорации пленок ЭВТИ обусловлен возможностью провести работу в широком спектральном диапазоне и доступностью источника излучения для промышленного применения.

Экспериментальная установка

Для осуществления перфорации отверстий в экранно-вакуумной теплоизоляции была собрана экспериментальная установка (см. рис. 1), состоящая из трех упомянутых выше лазеров (Nd, Er, ТЕА CO₂) 1, двухкоординатного стола 2, сменной оптики 3 (с фокусным расстоянием 150 мкм для каждого типа лазера), включая и ответвитель лазерного пучка; измерительного микроскопа 4 с CCD TV камерами и измерителя мощности 5 (Ophir-3A-N). На данной установке исследовались режимы получения отверстий диаметром 1 мм и шагом 10 мм в пленке ЭВТИ в зависимости от параметров лазерного излучения (длина волны излучения, плотность энергии излучения).

Методика получения отверстий в пленке ЭВТИ заключается в следующем: фокусируя излучение лазера на пленку в пятно диаметром 1 мм и поднимая энергию импульса излучения, добивались получения отверстия (пленка подвергалась воздействию только одного импульса).

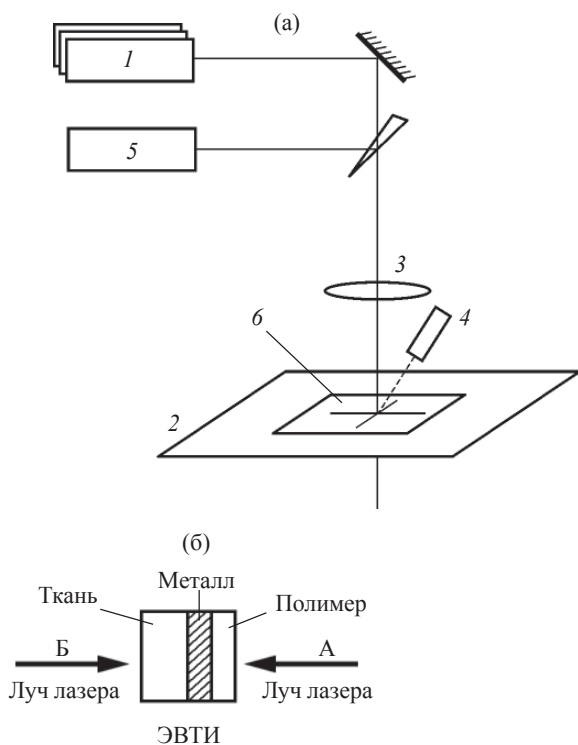


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. а – ЭВТИ РАМ-2, б – схема облучения пленки ЭВТИ. 1 – лазеры (Nd, Er, TEA CO₂), 2 – двухкоординатная система движения, 3 – линза, 4 – измерительный микроскоп, 5 – измеритель мощности Орпиг-3А-Н, б – образец.

Экспериментальные результаты

В результате проведенных работ с помощью лазерного излучения были определены режимы формирования отверстий в пленках ЭВТИ. Фотография такого одного отверстия показана на рис. 2а, фотография строки отверстий – на рис. 2б.

На графиках (рис. 3) показаны зависимости одноимпульсного пробоя отверстия в ЭВТИ от типа лазера, связанные как с плотностью энергии лазерного импульса ϵ_s , так и со спектром поглощения ЭВТИ. Из этих графиков видно, что ИК лазеры (от 1,06 мкм до 10,6 мкм) позволяют успешно проводить перфорацию пленок ЭВТИ с невысокой плотностью энергии. Различие порога пробоя заданного отверстия от плотности энергии лазерного излучения для 1 и 10 мкм, видимо, связано с более высокой отражательной способностью алюминия в области излучения CO₂-лазера.

При исследовании перфорации в пленках ЭВТИ была обнаружена зависимость энергетического порога пробоя пленки от направления лазерного луча. В случае, когда луч лазера был направлен на металлическое покрытие (зависимость 1 на рис. 3) с тонким слоем полимера, требовалась несколько меньшая энергия, чем в случае, когда он был направлен со стороны тканевой основы.

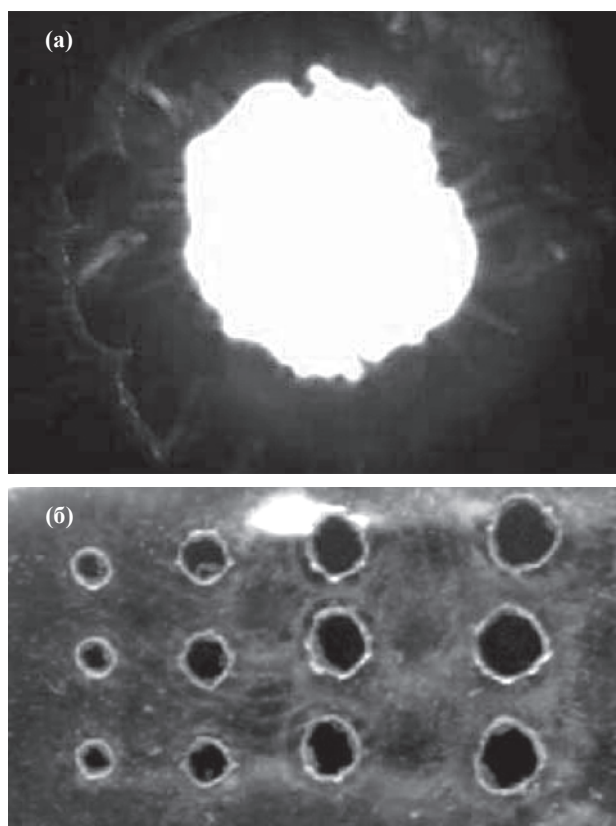


Рис. 2. Фотографии отверстия, полученного лазерным излучением в металлизированной полимерной пленке ЭВТИ, – а (со стороны ткани), и ряда отверстий в пленке ЭВТИ – б (со стороны алюминиевого покрытия).

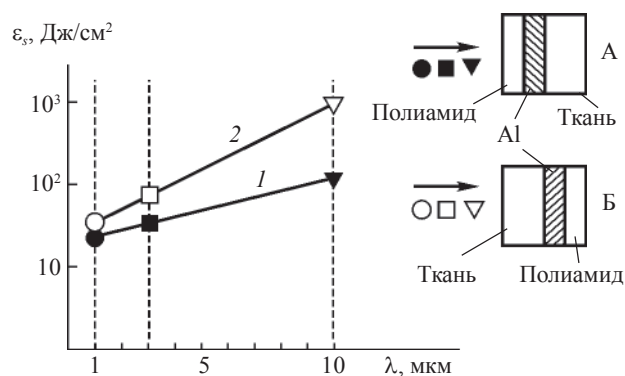


Рис. 3. Зависимости минимальной плотности энергии получения отверстий диаметром 1 мм в пленках ЭВТИ, от длины волны излучения различных типов лазеров. 1 – направление луча лазера на металлическое покрытие, 2 – на тканевую основу.

Конечно, физический анализ воздействия импульсного лазерного излучения на сложную многослойную конструкцию полимер–металл–ткань является весьма сложной теплофизической и гидродинамической задачей и не является предметом данной работы. Однако можно предположить,

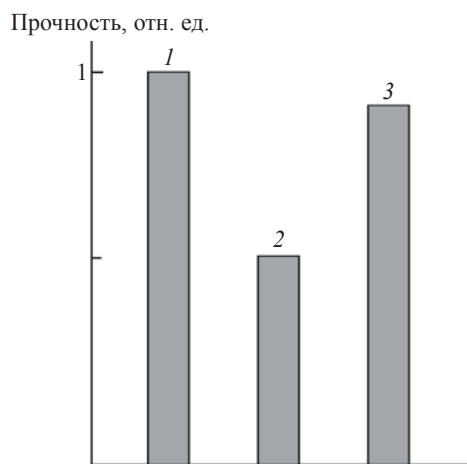


Рис. 4. Гистограмма прочности пленок ЭВТИ. 1 – исходный материал (без отверстий), 2 – с механически полученными отверстиями, 3 – с лазерными перфорированными отверстиями.

что воздействие лазерного пучка, особенно ТЕА СО₂-лазера, со стороны тканевой основы ЭВТИ (500 мкм) приводит сначала к испарению материала ткани, пары которой будут частично экранировать алюминиевую пленку, и, следовательно, лазерный пучок будет падать на нее с меньшей энергией, не достаточной для ее пробоя.

Воздействие лазерного пучка со стороны тонкого (порядка 20 мкм) полимерного покрытия хотя и ослабляет энергию лазерного пучка, но не столь значительно. Падая на на металлическую пленку, лазерный пучок приводит к ее испарению, продукты которого воздействуют на тканевую основу ЭВТИ, и прожигает ее.

Полученные образцы ЭВТИ с рядом перфорированных отверстий испытывались на разрыв (см. рис. 4). Прочность данных образцов почти не отличалась от прочности исходного материала, что объясняется тем, что на краях отверстий, полученных бесконтактно лазерным излучением, не образовались микротрещины, которые являются причиной разрушения материала, что и происходит при механических перфорациях ЭВТИ.

При воздействии лазерного импульса на ЭВТИ в процессе формирования сквозного отверстия края

отверстия имеют наплывы, от характера которых зависит механическая прочность ЭВТИ. Наибольшая прочность перфорированных лазерным излучением пленок ЭВТИ получается тогда, когда размеры этих наплывов минимальны. Максимальные наплывы (при одинаковой плотности энергии лазерного излучения) возникают при воздействии лазерного пучка со стороны тканевой основы ЭВТИ.

Заключение

В результате работы показано, что для перфорирования отверстий в пленках ЭВТИ возможно использование инфракрасных лазеров диапазона 1–10 мкм. При этом энергетически более целесообразно пробой отверстий осуществлять со стороны металлического покрытия. Для практической реализации технологической установки лазерной перфорации отверстий в ЭВТИ необходимо организовать деление пучков на несколько лучей, что позволит увеличить скорость обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экранно-вакуумная теплоизоляция // ОСТ 92-1350-83.
2. Новиков Л.С., Милеев В.Н., Маклецов А.А., Графодатский О.С. Электризация космических аппаратов в магнитосферной плазме // Новые наукоемкие технологии в технике. Энциклопедия. Т. 16. "Воздействия космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов" / Под ред. Касаева К.С. М.: "ЭНЦИТЕХ", 2000. С. 238–286.
3. Дорофеев А.Н., Тютнев А.П., Саенко В.С., Пожидаев Е.Д. Природа электростатических разрядов на внешней поверхности космических аппаратов // Физика и химия обработки материалов. 2004. № 5. С. 32–37.
4. Вейко В.П. Лазерная обработка пленочных элементов // Л.: Машиностроение, 1986. 248 с.
5. Anscombe N. Lazer welding Penetrates the plastics market // Photonics spectra. 2004. № 9. Р. 60–66.
6. Петров М. Лазерная обработка материалов в электронике // Компоненты и технология. 2002. № 8. С. 40–80.
7. Лазерная перфорация отверстий в бумаге // <http://www.rofin-baasel.com>.