

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗРУШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПОЛИМЕРОВ  
ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЛУЧИСТОГО ПОТОКА ПЛАЗМЫ

И. К. Дустов, М. А. Султанов

(Душанбе)

Описаны опыты по разрушению полимерных пленок струей плазмы, формируемой в специальной разрядной камере. Результаты опытов данной работы подтверждают модель разрушения полимерных материалов лучистым потоком энергии, предложенную в работах [1,2].

Большой интерес представляют вопросы взаимодействия лучистого потока с твердым телом, в частности с полимерными материалами. Для успешного исследования этих вопросов необходимо более детально изучить сам механизм разрушения таких материалов под действием лучистого потока. Модель поверхностного и объемного разрушения полимеров при совместном действии конвективного и лучистого потоков была предложена в работах [1,2], в которых теоретически и экспериментально исследовалось разрушение некоторых термически разлагающихся полимерных материалов в струе низкотемпературной плазмы непрерывного (стационарного) режима. В указанных работах скорость струи плазмы составляла около 100 м/сек, а температура факела — порядка 9 000—11 000° К.

В предлагаемой работе ставилась задача проверить указанную модель на установках импульсного типа, в которых скорость плазменной струи превышает скорость звука, а температура торможения плазмы составляет десятки тысяч градусов.

В качестве источника энергии в работе использовался разряд в капилляре типа ЭВ-39, свойства которого подробно описаны в работах [3,4]. По данным авторов этих работ, температура указанного источника составляет примерно 40 000° К, давление внутри капилляра примерно 500 атм, скорость струи до 10 км/сек.

Для получения сверхзвукового плазменного потока использовался метод, описанный в [5], причем применялась схема установки электродов, приведенная там же. Емкость батареи импульсных конденсаторов составляла 300 мкф, напряжение — 1,5—2 кВ, индуктивность разрядного контура порядка 1 мкГн. Получаемый разряд является периодическим, затухающим, причем амплитуда второго полупериода намного меньше амплитуды первого полупериода (время первого полупериода составляло около 100 мксек.) Поджиг между электродами в разрядной камере осуществлялся от пульта управления сверхскоростной камеры СФР. Исследования выбранного в работе электрического режима показали, что температура пространственно выделенного факела плазмы составляет более 10 000° К (температура плазмы определялась по методу, описанному в [6]), скорости струй на фоторазвертке — 7—10 км/сек.

Выбор данного типа разряда в качестве источника лучистой энергии диктовался тем, что при торможении плазменных струй на твердой преграде (поверхности исследуемого образца) происходит резкое увеличение температуры струи. Температура торможения сверхзвуковых плазменных струй в ряде режимов импульсного разряда составляет по некоторым оценкам около 50 000° К (см. например, [7]). Известно, что при таких высоких значениях температуры основную долю полного потока тепла составляет лучистый поток.

Действию лучистого потока подвергали пленки полистирола, поливинилового спирта, полиэтилена высокого давления, лавсана, капрона, тефлона и ряда других материалов. Толщина пленок составляла от 50 до 300 мк. Исследовались как ориентированные, так и неориентированные полимерные материалы.

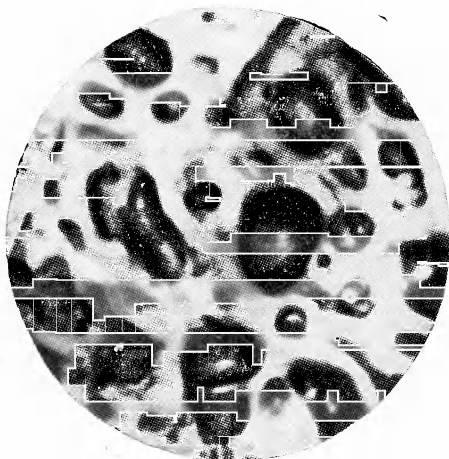
Состав полученной плазмы определяли спектроскопическим методом. В спектре имеются линии материала электродов и разрядной камеры (разрядная камера обычно изготовлялась из текстолита, оргстекла и других непроводящих материалов).

Результаты экспериментальных исследований показали следующее.

При действии плазменных струй в результате импульсного удара на поверхности пленок образуются каверны, глубина которых в центре разрушения для некоторых материалов составляет до 80% общей толщины пленок, а диаметр области поражения — от 8 до 14 мм и более. Наблюдается также выседание материала камеры и электродов на поверхности образцов в виде мелких частичек и жидких капель. Кроме того, в результате импульсного воздействия происходят сильные изменения поверхностной структуры образцов.

Из рассмотрения общих картин разрушения ориентированных и неориентированных полимерных пленок было видно, что на поверхности всех пленок после воздействия плазменного потока образуются различные неоднородности, причем для ориентированных материалов они сопровождаются жилами, переплетающимися между собой, а для капрона — отдельными бугорками различной формы и разных размеров. На поверхности неориентированных материалов после воздействия плазменного потока жилок не образуется. В данном случае наблюдается хаотическая картина, отличная от картин разрушения для ориентированных материалов.

Из рассмотрения микрофотограмм разрушения рассмотренных в работе материалов можно различить два типа разрушения: поверхностное и объемное. Для большинства материалов можно одновременно наблюдать как поверхностный, так и объемный типы разрушения. Поверхностное разрушение иллюстрируется на фиг. 1, где приведена микрофотограмма поверхности капроновой пленки, толщина которой составляла 75 мк.

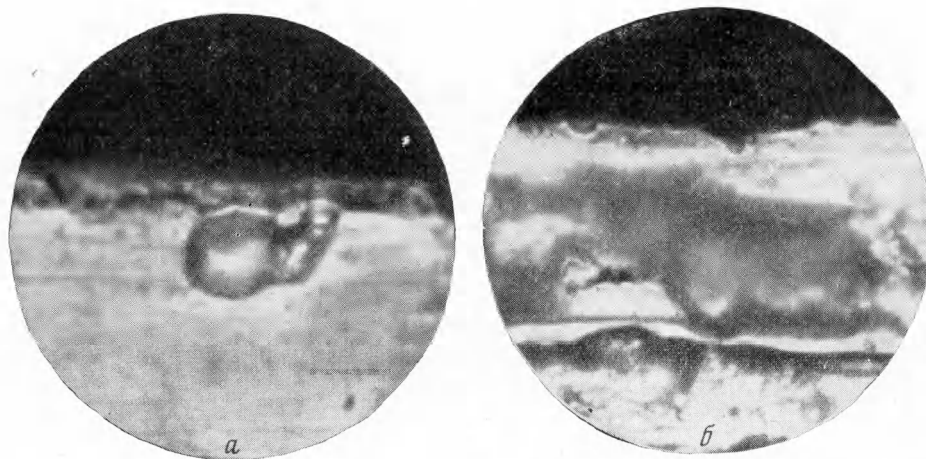


Фиг. 1

Полученная картина разрушения снята в центре области поражения, где плазменные струи были направлены строго перпендикулярно к поверхности пленки. Видно, что в результате действия плазменного потока на поверхности материала образуется множество поверхностных газовых пузырей; диаметр пузырей на фиг. 1 составляет от 10 до 45 мк (увеличение 270 ×). Итак, характер поверхностного поражения различен для одного и того же материала в зависимости от его структуры. Однако следует отметить, что это описание пока носит предварительный характер.

Для выяснения механизма разрушения внутри исследуемых материалов (объемное разрушение) были сняты поперечные шлифы некоторых образцов. Микрофотографические исследования этих шлифов показывают, что вблизи поверхности всех исследованных пленок после воздействия импульсным разрядом образуется углеродистый слой, толщина которого различна для разных матери-

алов. Под углеродистым слоем в толще неразложившейся части материала образуются газовые пузырьки. В зависимости от природы материала эти пузырьки образуются на различных глубинах внутри пленок и имеют различные размеры.



Фиг. 2

На фиг. 2,а приведена микрофотограмма поперечного шлифа пленки тефлона толщиной 250 мк (увеличение 600 ×). Как видно, на поверхности образца наблюдается выделение углеродистого слоя толщиной 8—10 мк. Под углеродистым слоем отчетливо виден образующийся газовый пузырь диаметром порядка 25 мк.

На фиг. 2,б при том же увеличении приведена микрофотограмма шлифа капроновой пленки; в этом случае толщина углеродистого слоя составляла 5—6 мк. Газовый пузырь на фиг. 2,б имеет размеры 35—115 мк. Отметим, что в отличие от результатов работ [1,2] форма образующихся пузырьков заметно отличается от сферической. Последнее вызвано, по-видимому, сильным импульсным воздействием на материал при торможении плазменной струи. Причины образования газовых пузырей были обсуж-

дены в работах [1,2], где было показано, что лучистый поток, проникая внутрь образца, вызывает разрушение химических связей в молекулах полимеров, в результате чего происходит образование полостей, заполненных газообразными продуктами разложения. Давление газов в этих пузырьках весьма велико; оно вызывает появление трещин, соединяющих пузырьки друг с другом и с поверхностью материала.

Таким образом, анализ микрофотограмм картин разрушения как на поверхности, так и внутри рассмотренных в работе материалов наводит на мысль, что, по-видимому, в данном случае основную роль играет именно лучистый поток энергии. Дополнительным подтверждением этого предположения могут служить также следующие соображения.

В работе [8] было показано, что материалы, которые не плавятся в импульсном разряде и не разлагаются квантами лучистой энергии, практически не поражаются в импульсной плазменной струе (уголь, дерево, текстолит и др.). Даже лист писчей бумаги может выдерживать без заметного разрушения воздействие нескольких плазменных импульсов. Например, в [8] поверхность пластинки вольфрама покрывалась листом писчей бумаги, непрозрачным для имеющегося в плазме излучения, на которой была вырезана форма звезды. В результате действия сверхзвукового факела на обнаженных участках вольфрама были заметны сильные следы повреждений, а бумага практически оставалась не поврежденной. Кроме того, предохранение металлических поверхностей мягких металлов от воздействия плазменных струй осуществлялись с помощью воды и масла. Показано, что под действием механического импульса пластинки сильно прогибаются, однако на их поверхности не наблюдается никаких признаков поражения.

Для окончательной проверки высказанных выше соображений и модели [1,2] были проведены дополнительные опыты. Испытываемые образцы полимерных пленок помещались под пластину оргстекла толщиной до 1 мм и подвергались действию импульсного разряда при более мощных режимах. Результаты рентгеноструктурного анализа и инфракрасной спектроскопии показали, что под действием сверхзвуковых плазменных струй в структуре материалов происходят некоторые изменения того же типа, что и в незащищенных образцах, хотя на поверхности образца признаков разрушения вообще не наблюдается.

Учитывая, что оргстекло практически прозрачно для излучения плазмы, можно предполагать, что в механизме разрушения полимерных пленок под действием сверхзвуковых плазменных струй основную роль на самом деле играет лучистый поток энергии.

Таким образом, предложенная в [1,2] модель будет справедливой также для источников плазмы импульсного режима. Для удовлетворительного объяснения механизма разрушения полимерных пленок под действием сверхзвуковых плазменных струй потребуется проведение дополнительных экспериментальных опытов.

Поступила 17 XII 1968

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Буевич Ю. А., Якушин М. И. Некоторые особенности термического разрушения разлагающихся материалов. ПМТФ, 1968, № 1.
2. Буевич Ю. А., Егоров О. К., Якушин М. И. О механизме разрушения полупрозрачных полимеров лучистым тепловым потоком. ПМТФ, 1968, № 4.
3. Огурцова Н. Н., Подмошенский И. В. Спектроскопическое исследование мощного импульсного разряда в отверстии тонкой изоляционной пластины. Сб. Физич. проблемы спектроскопии. М., Изд-во АН СССР, 1962, т. 1.
4. Огурцова Н. Н., Подмошенский И. В., Шелемина В. М. Зависимость температуры и давления плазмы капиллярного разряда с испаряющейся стенкой от геометрии капилляра и тока разряда. Теплофизика высоких температур, 1968, т. 6, № 1.
5. Султанов М. А. Определение основных параметров сверхзвуковой плазменной струи импульсного разряда повышенной мощности. Докл. АН ТаджССР, 1967, № 11.
6. Киселевский Л. И., Султанов М. А. Исследования плазменных образований, возникающих при взаимодействии факелов импульсного разряда большой мощности. ПМТФ, 1966, № 4.
7. Бондарь В. А., Киселевский Л. И. Получение и спектроскопические исследования плоскопараллельного осесимметрического слоя плазмы импульсного разряда с широким температурным диапазоном. Ж. прикл. спектроскопии, 1966, т. 5, вып. 5.
8. Султанов М. А., Киселевский Л. И. Исследование механизма эрозии электродов под действием сверхзвуковых факелов при импульсном разряде. Теплофизика высоких температур, 1966, № 3.