

## ЕЩЕ РАЗ О МЕХАНИЗМЕ РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЛУЧИСТОГО ПОТОКА ПЛАЗМЫ

М. А. Султанов

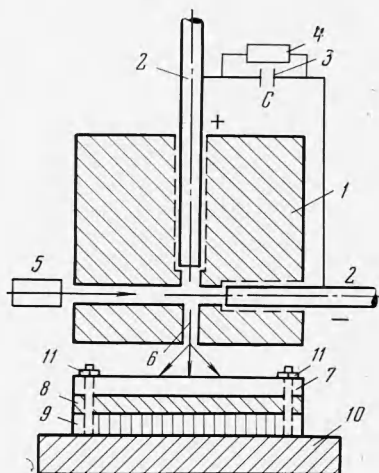
(Душанбе)

Описаны опыты по механизму разрушения некоторых полимерных пленок под действием ударной волны и лучистого потока плазмы в импульсном разряде большой мощности.

Полученные экспериментальные результаты подтверждают выводы, сделанные в [1,2], и модель разрушения, описанную в [3,4].

Заметим, что в работах [1, 2, 5, 6] были приведены результаты исследований картин разрушения как объема, так и поверхности некоторых полимерных пленок под действием сверхзвукового потока плазмы в импульсном разряде большой мощности. При этом в [1,2] предполагалось, что в механизме разрушения основную роль играет лучистый поток плазмы.

1. Для экспериментов применялась схема разрядной камеры, показанной на фиг. 1. В тело кубика 1 из диэлектрического материала вводились металлические электроды 2, на которые подается высокое напряжение от батареи импульсных конденсаторов 3, заряжаемой высоковольтным выпрямителем 4.



Фиг. 1

Межэлектродный промежуток в разрядной камере инициировался с помощью генератора поджигающих импульсов (ГПИ) 5. Образованный при разряде плазменный поток выбрасывается наружу через сопло 6. Исследуемые образцы ставились на таком расстоянии от среза сопла, на котором скорость плазменной струи оставалась сверхзвуковой.

Экспериментальные условия сохранялись примерно те же, что в [1]; однако с целью увеличения доли лучистого потока были изменены электрические параметры разрядного контура. Емкость батареи импульсных конденсаторов составляла 400 мкф, а напряжение зарядки 3 кв. Форма разряда, время которого соответствовало 120 мксек, оставалась прежней; скорость поступления плазменных струй, которые определялись по наклону полос на временных фоторазвертках, 10—12 км/сек.

Методом зеркальной развертки на сверхскоростной камере СФР-2М исследовалась структура скачков уплотнения, образуемых при встрече сверхзвукового плазменного

потока с некоторыми полимерными материалами. Скорость развертки составляла 1500 м/сек, частота съемки — 500 000 кадров в секунду. В качестве иллюстрации на фиг. 2, а приведена временная непрерывная фоторазвертка уплотненной зоны плазмы при  $C = 400$  мкф и  $U = 3$  кв. Из приведенной фотографии видно, что сверхзвуковой плазменный поток при встрече с твердой преградой у ее поверхности создает область интенсивного свечения толщиной порядка 2.0—2.5 мм, которая практически существует во все время импульса. Яркая зона соответствует области сжатой плазмы, заключенной между поверхностью преграды и отошедшей ударной волной, температура которой по некоторым оценкам соответствует 40 000° К. (Некоторые простые методы получения высоких температур на скачке уплотнения в импульсных разрядах большой мощности описаны в [7].)

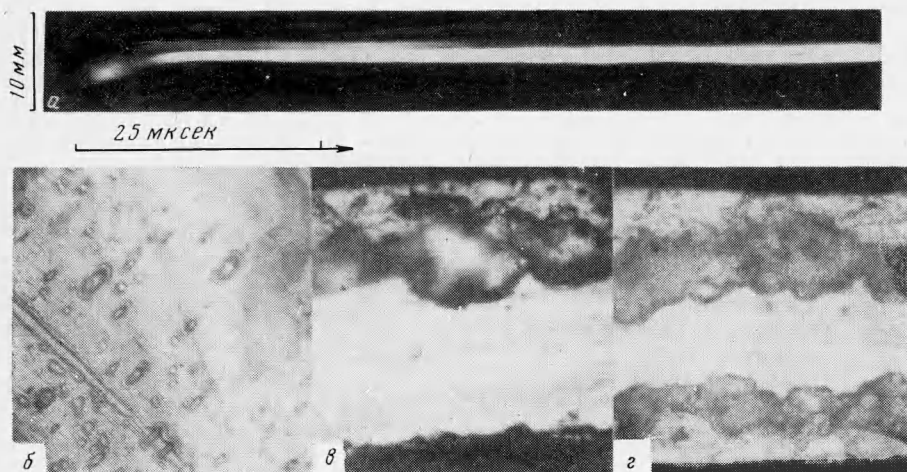
Температура ударносжатой области плазмы на поверхности твердой преграды определялась по методу, описанному в [8], и по полуширине спектральных линий. Кроме того, полученные значения температуры контролировались с помощью импульсного эталонного источника света ЭВ-39 [9,10].

Некоторые предварительные экспериментальные наблюдения показали, что картины разрушения поверхности полимерных пленок сильно зависят не только от структуры материала, как это было отмечено в работах [1,2,8], но также от параметров разрядного контура, от количества импульсов, от расстояния между преградой и срезом сопла и от ряда других экспериментальных условий.

2. Отдельно исследовалось действие плазменного потока на поверхности материала. Для этого на пути плазменной струи ставился испытываемый образец 8 (фиг. 1), который прикреплялся к державке 10 из диэлектрического материала.

Анализ картин разрушения поверхности материалов показал следующее:

- 1) картины разрушения неодинаковы для разных материалов даже при одних и тех же экспериментальных условиях;
- 2) след разрушения, как правило, имеет форму окружности, диаметр которой для разных материалов может составлять от нескольких миллиметров до десятка миллиметров;
- 3) из всех рассмотренных в работе полимерных пленок плохо разрушается (как по диаметру, так и в глубину) пленка тефлона.



Фиг. 2

Кроме того, на поверхности всех материалов после воздействия сверхзвукового потока плазмы наблюдается перенос продуктов разрушения разрядной камеры и металлических электродов, в результате чего поверхность образца подвергается не только действию воздушной плазмы, но и действию материала электродов, которые переносятся в виде жидких капель и дисперсных частиц и достигают преграды со сверхзвуковой скоростью. На некоторых материалах после воздействия импульсного разряда наблюдаются пробоины различного диаметра и механический унос некоторой массы с поверхности образца. По диаметру образованных пробоин (микроотверстий) иногда можно судить о примерных размерах жидких капель, образуемых при разрушении металлических электродов. (Наличие жидких капель, которые легко можно заметить даже невооруженным глазом, особенно хорошо наблюдается на металлических пластинках.)

В качестве примера на фиг. 2, б приведена микрофотограмма картины разрушения поверхности неориентированного полистирола (увеличение 270X). Из микрофотографии видно, что после воздействия сверхзвукового плазменного потока на поверхности образца образуются микропятна в виде кружков диаметром от 1 до 5 мк. Следует отметить, что аналогичная картина для капрона наблюдалась в работе [1], где было указано на образование газовых пузырей на поверхности материала после воздействия сверхзвукового плазменного потока. Однако в упомянутой работе размеры газовых пузырей в диаметре имели от 10 до 45 мк, хотя параметры разрядного контура имели меньшее значение, чем в данной работе.

3. Исследовались объемные картины разрушения полимеров. В этом случае действие ударной волны исключалось предохранением испытуемого образца куском оргстекла 7 толщиной 2 мм (фиг. 1). Под материалом ставилась черная бумага. После воздействия сверхзвукового плазменного потока изучались микрошлифы по объему испытуемого образца. Исследования показывают, что в данном случае на поверхности наблюдается отсутствие каких-либо признаков разрушения и выделения углеродистого слоя, как это было показано в [1]. Анализ объемной картины разрушения показал, что та сторона материала, на которую падает поток плазмы, в результате подвергается интенсивному разрушению. В качестве иллюстрации на фиг. 2, в приведена микрофотограмма шлифа объемной картины разрушения неориентированного полипропилена (увеличение 450X). Из микрофотографии видно, что при разрушении в объеме материала образуются газовые пузыри различных диаметров в среднем от 10 до 30 мк. Следует отметить, что обратная сторона пленки, под которой ставилась черная бумага, практически не разрушается.

4. Испытываемый образец сверху также предохранялся пластинкой оргстекла, а под ним вместо черной бумаги ставилась пластинка алюминия с зеркальной поверхностью 9 (фиг. 1). Образец и пластинки прикреплялись к специальной державке с помощью болтов 11. Фотография микрошлифа неориентированного полипропилена показана на фиг. 2, г. (Увеличение также 450X.) Из фотографии видно, что в данном случае разрушение наблюдается с двух сторон пленки. Анализ данного варианта опыта показал, что лучистый поток, отражаясь от зеркальной поверхности пластинки алюминия, разрушает полимерную пленку с обратной ее стороны. Здесь также наблюдается образование газовых пузырей диаметром от 5 до 15 мк и более. Природа образования газовых пузырей такая же, что в [1-6].

Кроме того, в работе колориметрическим методом определялись величины лучистого потока на поверхности пленки и за пленкой при различных режимах электрического разрядного контура. Например, для режима при  $C = 300$  мкф и  $u = 3$  кв, когда испытываемая пленка ставилась на расстоянии 4 мм от среза сопла, величина потока на ее поверхности составляет порядка  $2.5 \cdot 10^{11}$  эрг/мм<sup>2</sup> · сек, а за пленкой — порядка  $1.6 \cdot 10^{11}$  эрг/мм<sup>2</sup> · сек. Как видно, поток, незначительное количество которого расходуется на отражение от первой поверхности пленки и на поглощение, почти проходит через пленку.

Полученные значения потока можно считать разумными, если учесть, что даже на электродуговых моделирующих установках можно получить большие значения величин лучистого потока [11].

Таким образом, можно сделать заключение, что в механизме разрушения поверхности полимерных пленок под действием сверхзвукового потока плазмы основную роль, очевидно, играет действие ударной волны, однако в механизме объемного разрушения основную роль действительно играет лучистый поток тепла.

Поступила 2 X 1969

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дустов И. К., Султанов М. А. Исследование механизма разрушения некоторых полимеров под действием лучистого потока плазмы. ПМТФ, 1969, № 3.
2. Sul t a n o v M. A., N a r z u l l a e v B. N. Investigation on the interaction of shock compressed plasma volums formed in impulse discharge of great power with solids. Internat. Conf. on Phenomena in Ionized Gases 9-th, Bucharest, Romania, 1969.
3. Б у е в и ч Ю. А., Я к у ш и н М. И. Некоторые особенности термического разрушения разлагающихся материалов. ПМТФ, 1968, № 1.
4. Б у е в и ч Ю. А., Е г о р о в О. К., Я к у ш и н М. И. О механизме разрушения полупрозрачных полимеров лучистым тепловым потоком. ПМТФ, 1968, № 4.
5. Су л т а н о в М. А., Д у с т о в И. К. Исследование взаимодействия сверхзвуковых плазменных струй с некоторыми полимерными пленками. Тезисы докладов II Всес. конф. по физике низкотемпературной плазмы, Минск, 1968, стр. 280.
6. Д у с т о в И. К., Н а р з у л л а е в Б. Н., Су л т а н о в М. А. Действие сверхзвуковых плазменных струй на полимерные пленки. Докл. АН Тадж. ССР, 1969, т. 12, № 3.
7. Sul t a n o v M. A. Effects of collision of supersonic plasma jets. Internat. Conf. on Phenomena in Ionized Gases 9-th., Bucharest, Romania, 1969.
8. К и с е л е в с к и й Л. И., Су л т а н о в М. А. Исследование плазменных образований, возникающих при взаимодействии факелов импульсного разряда большой мощности. ПМТФ, 1966, № 4.
9. О г у р ц о в а Н. Н., П о д м о щ е н с к и й И. В. Спектроскопическое исследование импульсного разряда в отверстии тонкой изоляционной пластины. В сб.: «Физические проблемы спектроскопии», М., Изд-во АН СССР, 1962, т. 1.
10. О г у р ц о в а Н. Н., П о д м о щ е н с к и й И. В., Ш е л е м и н а 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.
11. L o u i s J. F., D e c h e r R. B r o g a n T. R. Production of Intence Radiation Heat Pulses. AIAA Journal 1964, vol. 2, No. 1. (Рус. перев.: Генерирование интенсивных импульсов лучистого нагрева. Ракетная техника и космонавтика, 1964, т. 2, № 1.)