

05.1

© 1991

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОТКОЛЬНОЙ
ПРОЧНОСТИ АЛЮМИНИЯ ОТ СКОРОСТИ
ДЕФОРМИРОВАНИЯ

В.В. К о с т и н, В.Е. Ф о р т о в

Под действием импульсной нагрузки в среде могут реализоваться откольные разрушения [1-4], при которых инициирование и рост микроповреждений происходит по всей зоне действия растягивающих напряжений (в отличие от статического разрыва, где разрушение локализуется в наиболее ослабленном участке).

В связи с этим, а также вследствие ограниченности скорости движения дислокаций, растет сопротивление среды разрушению — так называемая откольная прочность [4-6]. Исследования импульсного воздействия на материалы позволили сделать вывод о том, что величина откольной прочности σ_* зависит, главным образом, от скорости деформирования среды в зоне ударного воздействия [1, 5], которую можно определить как градиент массовой скорости среды.

Отмечено [4], что до скоростей деформирования $\dot{\epsilon} \approx 10^3 \text{ сек}^{-1}$ величина σ_* растет очень слабо и остается порядка статического предела прочности, что, вероятно, отражает квазистатический характер нагружения.

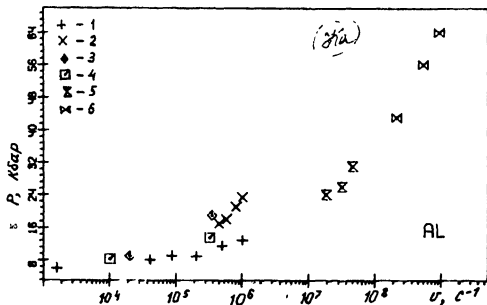
По поводу формы зависимости $\sigma_* \approx f(\dot{\epsilon})$ в настоящее время нет полной ясности. Предлагаются степенные [4, 5], экспоненциальные [3] формы. Малое количество экспериментальных данных в этой области, а также, подчас, их противоречивость, не позволяют однозначно решить этот вопрос.

В настоящей работе ставилась цель с помощью численного метода сквозного счета в двумерной постановке получить значения откольной прочности в области сверхвысоких скоростей деформирования (10^7 с^{-1}), которых можно достичь в условиях лазерного воздействия на материалы [3, 4].

Модель расчетов позволяет учитывать упругопластические свойства среды, упрочнение материала, рост и схлопывание несплошностей, а также релаксацию напряжений на трещинах [7]. Действие лазерного пучка моделировалось при помощи „скейлинга“ [8] заданием на облучаемой поверхности импульса сжатия, совпадающего с временным ходом плотности мощности лазерного импульса.

Значение откольной прочности было получено посредством регистрации максимального растягивающего напряжения в предполагаемой зоне разрушения.

Расчеты производились для двух вариантов лазерного воздействия. В первом случае в качестве расчетных были приняты парамет-



Зависимость откольной прочности алюминия от скорости деформирования. 1 - [3], 2 - [10], 3 - [11], 4 - [12], 5 - *Laser* (1), 6 - *Laser* (2).

ры лазерного воздействия, осуществленные в экспериментах [9]. Вторая группа расчетов производилась в условиях лазерного воздействия, позволяющих получить еще более высокие скорости деформирования (порядка 10^8 сек^{-1}).

Для первой группы расчетов толщины мишеней варьировались в пределах 100–600 $\mu\text{м}$, диаметр зоны энерговклада составлял 0.3–1.0 мм, энергия была равна 80 Дж. Указанные параметры воздействия позволяют достичь интенсивностей порядка $10^{11} \text{ Вт}\cdot\text{см}^2$ и давлений в сотни килобар. В экспериментах были получены значения пороговой интенсивности лазерного импульса, при которой происходит инициирование трещин, изучены различные стадии разрушения, а также геометрические характеристики откольной зоны.

Для определения откольной прочности $\sigma_{\text{к}}$ в эксперименте используется косвенная информация, содержащаяся в зависимости скорости свободной поверхности от времени [4]. Однако получить эту зависимость в экспериментах с импульсным лазерным воздействием из-за недостаточной разрешающей способности аппаратуры не представляется возможным.

Результаты проведенных расчетов были сопоставлены с экспериментальными данными, что отражает таблица 1. В этой таблице приведены значения толщины откольной пластины, соответствующие им интенсивности воздействия, а также величины абляционного давления, полученные с помощью „скейлинга” [8]. Отклонение полученных с помощью расчетов значений толщины откольной пластины от зафиксированных в эксперименте не превышает систематической погрешности измерений, что позволяет говорить о корректности принятой для описания реальных процессов модели воздействия лазерного импульса на металлическую мишень.

Данное обстоятельство делает возможным определение не только качественных, но и количественных характеристик процесса - откольного разрушения непосредственно из расчетов. Результаты определения откольной прочности для данной серии экспериментов

Материал	Толщина мишени [μм]	Мощность 10^{11} [Вт/см ²]	Толщина откольной пластины [μм]		Абляционное давление [Кбар]
			эксперимент	расчет	
Al	100	0.72	28 ₊₅	23 ₊₄	96
Al	100	2.0		21 ₊₄	191
Al	300	2.5	42 ₊₆	47 ₊₆	218
Al	300	5.0		45 ₊₆	351
Al	600	5.0	68 ₊₃	76 ₊₈	351
Al	600	9.0		77 ₊₈	519

приведены на рисунке и отмечены маркером, соответствующим указателю 5.

Вторая группа расчетов производилась для мишеней толщиной 3–20 μм при длительности лазерного импульса 5–200 пикосекунд.

В этом случае обеспечиваются скорости деформирования порядка 10^8 сек⁻¹, при этом полученные значения параметра σ_* более чем вдвое превышают значения, достигнутые для наносекундных импульсов. Последние точки на рис. 1, помеченные маркером, соответствующим указателю 6.

Полученные таким образом значения откольной прочности имеют тенденцию к росту при увеличении скорости деформирования, что вполне согласуется с результатами ранее опубликованных работ [1–6].

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Канель Г.И., Фортгов В.Е. // Успехи механики. 1987. Т. 10. № 3. С. 3.
- [2] Maron Y., Blaugrund В.Е. // J. Appl. Phys. 1982. V. 53. P. 356–360.
- [3] Бушман А.В., Канель Г.И., Ни А.Л., Фортгов В.Е. Теплофизика и динамика интенсивных импульсных воздействий. Черногоровка, 1988. 200 с.
- [4] Eliezer S., Gilath I. // J. Appl. Phys. 1990. V. 67. P. 715–726.
- [5] Grady D.E. // J. Mech. Phys. Solids. 1988. V. 36. P. 353–357.
- [6] Cochran S., Banner D. // J. Appl. Phys. 1977. V. 48. N 4. P. 2729–2733.

- [7] А базехов М.М., В овченок В.И., К иль -
п ио А.В., К остин В.В. и др. // Препринт ИВТ АН
СССР № 1-282. М., 1990. 40 с.
- [8] C o t t e t F., B o u s t i e M. // J. Appl. Phys
1989. V. 66. N 7. P. 4067-4072.
- [9] G i l a t h I., E l i e z e r S., D a r i -
e l M.P., K o r n b l i t L. // J. Mater. Sci.
Lett. 1988. N 7. P. 915.
- [10] B r e e d B.R., M a d e r C.L., V e n a b -
l e D. // J. Appl. Phys. 1967. V. 38. P. 3271.
- [11] B l i n k o v D.W., K e l l e r D.W. // ASTM
Spec. Techn. Publ. 1962. N 336. P. 2521.
- [12] S p e i g h t C.S., T a y l o r P.F., W a l -
l a c e A.A. Metallurgical effects at high strain
rates. London, 1973.

Поступило в Редакцию
7 декабря 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 5

12 марта 1991 г.

04; 07

© 1991

ПРИМЕНЕНИЕ СВЧ-РАЗРЯДА АТМОСФЕРНОГО
ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕТОВОДОВ С
ОТРАЖАЮЩЕЙ ОБОЛОЧКОЙ ИЗ
ФТОР-СИЛИКАТНОГО СТЕКЛА

А.С. Б и р ю к о в, К.М. Г о л а н т,
Е.М. Д и а н о в, А.В. К о р о п о в,
А.В. Ш а х а н о в

Известно, что легирование фтором кварцевого стекла приводит к понижению его показателя преломления и дает возможность конструировать световоды с сердцевинной из чистого SiO_2 . Известны преимущества таких световодов по сравнению с германо-силикатными [1, 2].

Появление плазменных методов (см. [3]) в технологии заготовок волоконных световодов позволило существенно повысить степень легирования кварцевого стекла фтором по сравнению с традиционными методами (*MCVD*, *OVD*, *VAD*) и получать на основе фтор-силикатных стекол волоконно-оптические структуры с высокой числовой апертурой. В частности, возможность изготовления отражающей оболочки из стекла с высоким содержанием фтора явилась решающим фактором при создании многомодовых