

03;05.1;12

©1994

К ВОПРОСУ О СОКРАЩЕНИИ ЭФФЕКТИВНОЙ ДЛИНЫ КУМУЛЯТИВНОЙ СТРУИ ПРИ ВНЕДРЕНИИ В КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

А.А.Кожушко, И.И.Рыкова, М.Хелд

Для описания соударения твердых тел при скоростях 10^3 м/с обычно используется гидродинамическая модель [1]. Согласно этой модели, глубина внедрения ударяющего тела заданной длины и плотности определяется только плотностью среды (преграды). Однако глубина внедрения кумулятивной струи (КС) в преграды из керамики и стекол и из стали практически не отличаются, несмотря на почти трехкратное различие в плотности. На рис. 1 приведены продольные сечения кратеров, образованных КС в идентичных условиях в стали (а) и комбинации стали и силикатного стекла (б). Замена значительной части стали не приводит к увеличению глубины кратера. Подобные аномалии в настоящее время интенсивно изучаются.

Уменьшение глубины внедрения КС в керамики по сравнению с расчетом на основе гидродинамической модели в значительной мере определяется влиянием их прочности на сопротивление внедрению [2,3]. Однако анализ имеющихся данных указывает на то, что уменьшение глубины внедрения КС в керамики нельзя объяснить только влиянием этого фактора.

Уменьшение глубины внедрения КС в преграду вызывается также сокращением в процессе движения в преграде эффективной длины КС, т.е. той ее части, которая расходуется на приращение глубины кратера [4,5].

В [6] на примере силикатного стекла предложен специфический для преград из хрупких материалов механизм сокращения эффективной длины КС. Он предусматривает воздействие на КС стенок кратера, взрывообразно разрушающихся при разгрузке материала преграды.

При безусловной физической обоснованности такого механизма вряд ли можно считать его единственно ответственным за сокращение эффективной длины КС при внедрении в хрупкие материалы высокой твердости. Как видно из рис. 1, поперечные размеры кратера в стекле и в стали соизмеримы. Это указывает на то, что взрывообразное разрушение

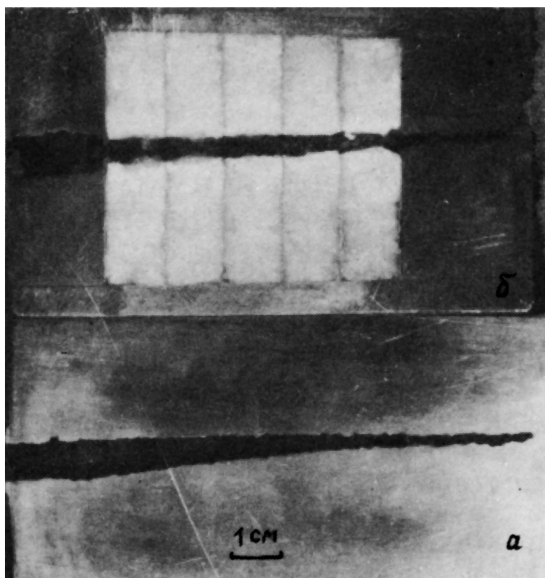


Рис. 1.

стенок кратера в стекле развивается в весьма тонком слое и не может приводить к наблюдаемому значительному сокращению длины КС. Поэтому естественно обратиться также к известному механизму сокращения эффективной длины КС, изученному для преград из пластичных материалов [4,5,7].

Согласно этому механизму, элементы КС, имеющие отклонения от осевой симметрии, взаимодействуют со стенка-

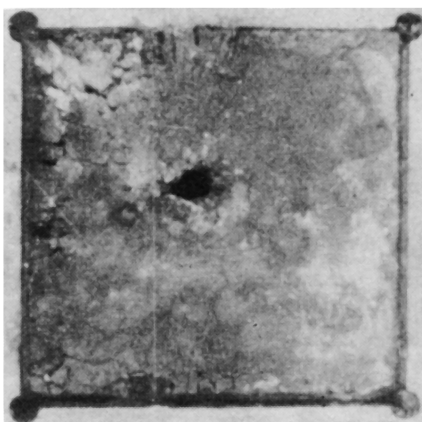


Рис. 2.

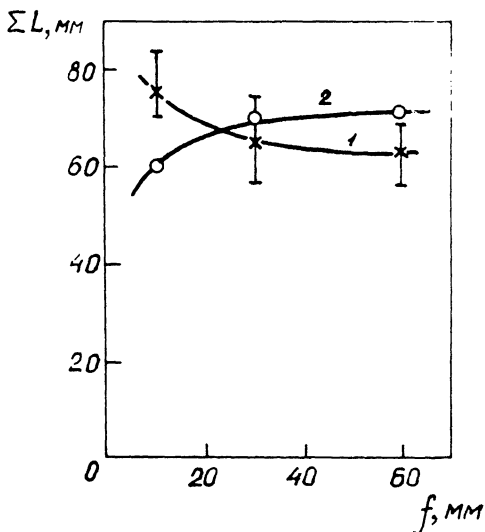


Рис. 3.

ми кратера. В результате увеличивается диаметр кратера, нарушается его осевая симметрия, а глубина внедрения КС уменьшается. Вероятность такого взаимодействия повышается с уменьшением диаметра кратера, величина которого обратно пропорциональна отношению твердости материала преграды к его плотности [8]. В керамиках, характеризующихся высокой твердостью и относительно низкой плотностью, сокращение эффективной длины КС по описанному механизму должно играть определенную роль. Качественным подтверждением этого может быть сильное нарушение радиальной симметрии кратера в преграде из карбида кремния (рис. 2).

О сокращении эффективной длины КС при ее взаимодействии со стенками кратера в керамике свидетельствуют зависимости глубины внедрения ΣL в комбинации сталь — карбид кремния — сталь от расстояния между кумулятивным зарядом и преградой f (рис. 3). Зависимости $\Sigma L(f)$ отражают влияние на эффективную длину КС двух конкурирующих факторов: удлинения КС под влиянием разности скоростей по ее длине и сокращения длины вследствие расходования на стенках кратера. Эти зависимости, как правило, имеют характерный максимум, соответствующий наибольшей эффективной длине КС при определенных значениях f [4].

На рис. 3 приведены зависимости, полученные для КС, формируемых облицовками с углами раствора $\varphi = 30$ (1) и 60° (2). С увеличением угла раствора осевая симметрия КС более совершенна и эффективная длина таких КС со-

кращается при внедрении в меньшей степени. При $\varphi = 30^\circ$ с увеличением $f \Sigma L$ монотонно уменьшается. Такой ход зависимости можно объяснить расходом КС на стенках кратера, которое не компенсируется ее растяжением. При $\varphi = 60^\circ$ в исследованном диапазоне значений f наблюдается рост ΣL , что связано с определяющим влиянием удлинения КС при растяжении. Показательно соотношение величин ΣL при $\varphi = 30$ и 60° . При прочих равных условиях с уменьшением угла φ начальная длина КС и соответственно глубина ее внедрения возрастают [1]. Эта закономерность выполняется при малых величинах f . При дальнейшем его увеличении глубина внедрения более длинной КС ($\varphi = 30^\circ$) меньше, чем более короткой ($\varphi = 60^\circ$). Этот факт указывает на значительное сокращение эффективной длины КС, формируемой из облицовки с $\varphi = 30^\circ$.

Приведенные результаты свидетельствуют о сокращении эффективной длины КС при внедрении в керамики по механизму, который реализуется при внедрении в высокопрочные пластичные материалы. Такое сокращение является одним из существенных и до сих пор не рассматриваемых факторов, объясняющих уменьшение глубины внедрения КС в керамики по сравнению с расчетом на основе гидродинамической теории.

Список литературы

- [1] *Лаурентьев М.А.* // Успехи математических наук. 1957. Т. 12. В. 4. С. 41–52.
- [2] *Кожушко А.А., Рыкова И.И., Синани А.Б.* // Физика горения и взрыва. 1992. Т. 28. В. 1. С. 89–93.
- [3] *Sternberg J.* // J. Appl. Phys., 1989, V. 65, N 9, p. 3417–3424.
- [4] *Шалль Р.* Физика быстропротекающих процессов. Т. 2. М.: Мир, 1971. С. 276–346.
- [5] *Held M.* // Nobel Hefte. 1991. V. 57. N 1. P. 14–40.
- [6] *Solve G., Cagnoux J.* // Bull. Am. Phys. Soc. 1989. V. 39. N 7. P. 1741.
- [7] *Kozhushko A., Rykova I., Vlasov A.* // Proc. 14th Int. Symp. on Ballistics. Quebec, 1993. V. 2. P. 391–399.
- [8] *Златин Н.А.* Баллистические установки и их применение в экспериментальных исследованиях. М.: Наука, 1974. С. 194–240.

Физико-технический
институт им. А.Ф.Иоффе
Санкт-Петербург
Дойче аэроспейс АГ
Шробенхаузен, Германия

Поступило в Редакцию
17 марта 1994 г.