

ЛИТЕРАТУРА

1. Johnson W., Sengupta A. K., Jhosh S. K. et al. Mechanics of high speed impact of normal incidence between plasticine long rods and plates // J. of Mech. and Phys. of Solids.— 1981.— 29, N 5/6.— P. 413—446.
2. Тейт А. Теория торможения длинных стержней после удара по мишени.— М.: Мир. 1968.
3. Naumann R. J. A physical basic for scaling hypervelocity impact // Proc. 7th hypervelocity impact symp.— Florida (USA), 1964.— Vol. 4.— P. 1—33.
4. Алексеев В. П. К вопросу о проникновении стержня в преграду с большой скоростью // ФГВ.— 1966.— 2, № 2.— С. 99.
5. Томашевич И. И. Проникание в преграду высокоскоростного потока удлиненных элементов // Там же.— 1987.— 23, № 2.— С. 97.

г. Арзамас

Поступила в редакцию 14/VIII 1991

УДК 621.762 : 5.01 : 546.261

С. Н. Кульков, С. Ф. Гилюсов

УДАРНО-ВОЛНОВОЕ РАЗРУШЕНИЕ КОМПОЗИТОВ СО СТРУКТУРНОНЕУСТОЙЧИВОЙ СВЯЗКОЙ

Изучены макро- и микроструктуры твердого сплава карбид вольфрама — сталь Г13 со стабильным и метастабильным состоянием матрицы после динамического нагружения. Показано, что в результате использования структурноустойчивого состояния матрицы в композите удается значительно понизить масштаб структурного уровня пластической деформации и разрушения подобных композитов не только в условиях квазистатического, но и высокоскоростного динамического нагружения.

В работе [1] показано, что использование в твердых сплавах структурноустойчивой связующей фазы позволяет значительно улучшить их вязкость и пластичность при сохранении уровня прочности в условиях квазистатического нагружения. Проведенные исследования позволяют выделить ряд основных моментов: формирование в материале внутренних напряжений сжатия, изменение структуры под действием внешнего нагружения, позволяющее обеспечить формоизменение в малом объеме материала, и упрочнение материала связки. Физический смысл применения структурноустойчивой связки в композитах состоит в понижении масштаба структурного уровня пластической деформации за счет формирования в процессе неоднородного нагружения микрокристаллической структуры связующей фазы. По-видимому, эти эффекты будут сохраняться и обеспечивать высокие механические свойства композиту в условиях динамического нагружения.

С этой целью в работе изучены макро- и микроструктуры твердого сплава WC — сталь Г13 со стабильным и метастабильным состоянием матрицы после динамического нагружения, представляющего собой удар шарового элемента с плитой из алюминиевого сплава со скоростью 1800 м/с.

В случае стабильного состояния связующей фазы ударное нагружение приводит к разрушению шарового элемента, осколки которого остаются в преграде и частично выносятся из нее. Если матрица находится в метастабильном состоянии, динамическое воздействие не приводит к нарушению сплошности материала, при этом одновременно изменяется форма метаемого элемента. Анализ микроструктуры деформированных образцов (рис. 1) показывает, что в материале наблюдается большое количество микротрешин, концентрирующихся в параллельные полосы, п «треки», проходящие весь образец. Сам факт появления таких упорядоченных микротрешин в виде «треков» свидетельствует об особом состоянии структурноустойчивой связующей фазы. Более того, видно, что они образовались на самых ранних стадиях соударения, а только впоследствии произошел откол. По-видимому, это связано с наличием

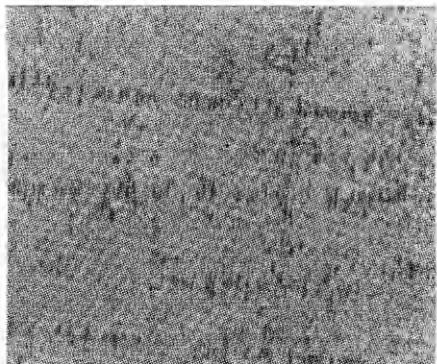


Рис. 1. Микроструктура твердого сплава после динамического нагружения.

в данном композите дисперсной карбидной фазы. Для проверки этого предположения построены распределения $N(d)$ и $N(h)$ (рис. 2).

Обращает на себя внимание регулярность максимумов в распределении расстояний между микротрещинами и падением их интенсивности. Если для $N(d)$ имеем максимум при $d \approx 1$ мкм, то на зависимости $N(h)$ их по крайней мере три — при $h \approx 2, 4$ и 8 мкм. Данную закономерность можно представить в виде формулы:

$$Y = \sum_{i=1}^n A_i \exp [-\alpha (x + 2^i d)], \quad (1)$$

где d — средний размер карбидных частиц (в нашем случае $d = 1$ мкм); A_i — функция, описывающая изменение интенсивности максимумов в распределении расстояний между микротрещинами, которую можно представить в простейшем виде:

$$A_i = I_i (x + b_0)^2, \quad (2)$$

I — интенсивность максимума.

Эта функция в зависимости от b_0 может в положительной области аргумента быть убывающей или возрастающей: в первом случае b_0 очень велико, во втором — очень мало. Экспериментально наблюдаемое распределение интенсивностей слагаемых уравнения (1) показывает, что для неустойчивой связки имеем относительно резкое убывание интенсивности с увеличением номера «гармоники», т. е. b_0 велико. В случае стабильного кристалла, когда материал разрушается при небольшом числе (возможно, одной) микротрещин, параметр b_0 мал.

Известно, что между напряжением и размером трещины существует зависимость в виде $\sigma = (kE\gamma/c)^{1/2}$ [2]. При этом предел текучести материала σ_y определяет критическую трещину, меньше которой материал будет только пластически деформироваться. Поэтому можно предполагать, что именно эту величину и определяет параметр b_0 в формуле (2): чем больше c_{kp} , тем меньше склонность материала к хрупкому разрушению. Это подтверждается также тем фактом, что предел текучести

для структурноустойчивого состояния существенно ниже за счет низких значений напряжений мартенситного сдвига, что обеспечивает меньшую жесткость всего композита (рис. 3). Поэтому при структурноустойчивом состоянии

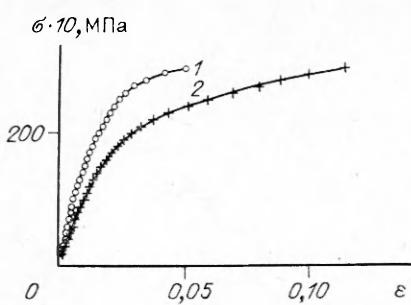


Рис. 3. Кривые напряжение — деформация после испытаний твердого сплава на сжатие. 1 — стабильное состояние матрицы; 2 — метастабильное состояние матрицы.

связки она может лишь подвергаться пластической деформации, которая за счет, по-видимому, локализации в конечном счете приводит к образованию множественных микротрещин.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в результате использования структурноустойчивого состояния матрицы в композите удается значительно понизить масштаб структурного уровня пластической деформации и разрушения подобных композитов не только в условиях квазистатического, но и высокоскоростного динамического нагружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панин В. Е., Гриняев Ю. В., Данилов В. И. и др. Структурные уровни пластической деформации и разрушения.— Новосибирск: Наука, 1990.
2. Cipra G. Micromechanic and fracture // Fracture and fatigue/Ed. by L. Broutman.— 1974.— Vol. 5.

г. Томск

Поступила в редакцию 3/XII 1991

УДК 629.198.624

Н. Н. Горшков, А. В. Пластинин, В. В. Сильвестров

СКВОЗНОЕ ПРОБИВАНИЕ СТЕКЛОТЕКСТОЛИТА ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ УДАРЕ

Определена предельная толщина преграды из стеклотекстолита при высокоскоростном ударе стальными и стеклянными частицами диаметром 0,8–2 мм при скорости удара 3–7,3 км/с. Показано, что прочность преграды значительно влияет на предельную толщину пробития, а площадь областей вторичных разрушений более чем на два порядка превосходит площадь сквозного отверстия. Разрушение одностороннего стеклопластика характеризуется значительным различием попечерных размеров областей повреждения, что обусловлено анизотропией механических свойств материала.

Использование композитных материалов в изделиях аэрокосмической техники объясняет интерес, проявляемый в последнее время к результатам высокоскоростного взаимодействия частиц с конструкциями из слоистых органо- и углепластика [1–3].

В настоящей работе приведены данные по зависимости предельно пробиваемой толщины плоской преграды δ из стеклопластика от размера и материала компактной частицы (шарик диаметром d), движущейся со скоростью v . Под предельной толщиной, согласно [4], понимается максимальная толщина преграды, при которой наступает сквозное разрушение при ударе, выражющееся хотя бы в появлении системы разгерметизирующих трещин. Стальные и стеклянные частицы с $d \sim 1 \div 2$ мм ускорялись при помощи трубчатого заряда ВВ до $v = 3 \div 7,3$ км/с [5, 6]. Во всех случаях рассматривается удар по нормали к поверхности преграды.

Материал преграды. Мишени, плоские пластиинки размером 80×80 мм и толщиной t вырезались из листа электротехнического слоистого стеклотекстолита марок СТ-1 и СТЭФ с одинаковой структурой армирования (основа — жгутовая стеклоткань полотняного переплетения), но различающихся материалом связующего: фенолформальдегидная смола резольного типа для СТ-1 и эпоксидная смола, отверженная фенолформальдегидной, для СТЭФ.

Согласно справочным данным, прочностные характеристики СТ-1 в 2–3 раза ниже, чем СТЭФ. Измеренная твердость для материалов по Бринеллю в направлении, перпендикулярном слоям армирующей стеклоткани, составила $36 + 8$ кГ/мм² для СТ-1 и $63 + 8$ кГ/мм² для СТЭФ (удельная плотность 1,71 и 1,85 г/см³ соответственно).