

© Шиянов С.М., Шепелина П.В., Куранцов В.В., Кормилицин А.И.
 Shiyanov S., Shepelina P., Kurantsov V., Kormilitsin A.

О РОЛИ ВОЛН НАПРЯЖЕНИЙ В РАЗРУШЕНИИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ON THE ROLE OF STRESS WAVES IN DESTRUCTION OF BEARING STRUCTURES OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

Аннотация. Приводится информация о роли разрушений в несущих конструкциях вызванных волнами напряжений. При отражении прямой волны сжатия от свободной поверхности тела зарождается отраженная волна растяжения. Величина растягивающего напряжения достаточна для разрушения материала.

Annotation. Provides information on the role of the destruction of supporting structures caused by waves of stress. Upon reflection direct compression wave from the free surface of the body originates reflected wave of tension. The magnitude of tensile stress sufficient to fracture the material.

Ключевые слова. Конструкция, сооружение, сложная техническая система, удар, взрыв, волна сжатия, волна растяжения, напряжение, деформация, волновое воздействие, область возмущений.

Key words. Design, construction, complex technical system, strike, explosion, the compression wave, the wave of tension, stress, strain, wave impact, the region of perturbation.

Некоторая информация о роли волн напряжений в разрушении несущих конструкций сложных технических систем рассмотрены в следующих работах [1–4].

При нестационарных волновых воздействиях разрушение несущих конструкций происходит при взаимодействии ударных волн в сложной системе.

Для примера рассмотрим прямоугольный брусок с внутренней полостью. Если внутри полости будет повышаться давление с большой скоростью, то разрушение должно произойти по наиболее тонким сечениям бруска в соответствии с известной истиной сопротивления материалов «где тонко, там и рвется». Если же осуществить одновременное нагружение внутренней поверхности с помощью ударной волны, то разрушение бруска произойдет по четырем самым толстым его сечениям. В этих сечениях бруска и происходит взаимодействие волн разрежения, возникающих при отражении цилиндрической расходящейся ударной волны от плоских граней. В области взаимодействия волн разрежения возникают большие кратковременные растягивающие напряжения, ко-

торые приводят к разрушению материала. Такой вид динамического разрушения, вызываемый взаимодействием волн разрежения, называется отколом. Примером образования откола является отражение плоской ударной волны от свободной плоской поверхности образца.

Рассмотрим процесс образования растягивающих напряжений в следующем эксперименте – удар свободно летящей пластинки по неподвижной толстостенной пластине. В характерных точках выхода ударной волны на свободные поверхности ударника и мишени образуются волны разрежения, которые распространяются навстречу друг другу. В области взаимодействия распространяющиеся напряжения становятся растягивающими. В любой фиксированный момент времени наибольшее растягивающее напряжение достигается на слабом разрыве, а максимальное растягивающее напряжение в точке пересечения слабых разрывов. Откол происходит в сечении, где раньше всего начинают выполняться критерии разрушения. Для грубых оценок используется так называемое акустическое приближение. В этом приближении, если ма-

Шиянов Сергей Михайлович – аспирант Российского университета Дружбы народов;
 Шепелина Полина Валерьевна – аспирантка Российского университета Дружбы народов;
 Куранцов Валентин Викторович – аспирант Российского университета Дружбы народов;
 Кормилицин Артем Игоревич – аспирант Российского университета Дружбы народов, тел. 8-926-5670558.

Shiyanov Sergei – graduate student of the Russian Peoples' Friendship University;
 Shepelina Polina – PhD student of the Russian Peoples' Friendship University;
 Kurantsov Valentin – graduate of the Russian Peoples' Friendship University;
 Kormilitsin Artem – graduate of the Russian Peoples' Friendship University, tel. 8-926-5670558.

териалы ударника и мишени одинаковы, импульс растяжения имеет прямоугольную форму. Схематично картина откола выглядит так, будто ударник проходит через мишень и продолжает лететь с той же скоростью. Если амплитуда ударной волны достаточно велика, то может произойти второй откол и т.д., то есть мишень может расслаиваться на отдельные пластинки.

Исследования процессов разрушения материалов при действии интенсивных волновых нагрузок представляют большой интерес для прикладных задач. Помимо традиционных направлений, связанных с военной техникой и вооружением, эти исследования имеют значение для разработки и эксплуатации многих современных конструкций и сооружений. Развитие новых технологий с применением взрыва, импульсных лазеров, корпускулярных пучков и других импульсных источников энергии связано с результатами экспериментов с волновым нагружением материалов. Рассматриваемые эксперименты значительно расширяют возможности фундаментальных исследований в области физики прочности.

При волновых воздействиях из-за малой длительности времени нагружения практически отсутствует взаимное влияние отдельных участков нагружаемого тела, содержащих какие-либо крупные дефекты, и соответственно их вклад в процесс откольного разрушения. При этом развиваются экстремально высокие скорости деформирования. Происходит разогрев вещества. Изменяется сам механизм пластической деформации. Долгое время считалось, что при волновом нагружении откол происходит мгновенно при достижении критической величины растягивающих напряжений.

Откол будет иметь место, если величина упругой энергии оказывается достаточной для протекания этого процесса. Рассматриваемый критерий разрушения основан на физической природе механизма откольного разрушения. Для многих практических задач применение энергетического критерия оправдано.

В настоящее время успешно разрабатываются кинетические критерии развития процесса разрушения во времени. Они используют определенные предположения о механизме разрушения. Одним из подходов к общей проблеме прочности твердых тел является использование кинетического уравнения долговечности. Многочисленными исследованиями показано, что это соотношение может успешно применяться для описания разрушения материалов различного класса в широком диапазоне значений долговечности.

Существенный прогресс в развитии кинетических моделей откольного разрушения связан с использовани-

ем для описания процессов зарождения и развития трещин и пор в нагруженном материале статистических методов. Для этого вводится функция распределения трещин и пор по их параметрам, характеризующим размер, форму и ориентацию трещин и пор.

В настоящее время отсутствуют экспериментальные методы, с помощью которых можно было бы проводить прямые измерения параметров состояния материала непосредственно в зоне протекания процесса откольного разрушения. Поэтому в настоящее время широко используется совместный анализ результатов физического и численного эксперимента. Максимальную информацию для такого анализа представляют результаты экспериментов, в которых осуществляется запись во времени каких-либо кинематических параметров, связанных с процессом откольного разрушения. Одним из методов исследования такого рода является непрерывное измерение скорости движения свободной поверхности образца при отражении от нее плоской ударной волны. При отражении ударной волны от свободной поверхности последняя скачком приобретает такую же скорость. Она начинает тормозиться за счет влияния прочности материала. Разрушения пока не произошло. Материал сопротивляется растяжению. В некоторой точке при разрыве материала вновь образуется волна сжатия, в которой давление скачком повышается от отрицательной величины до нуля. В момент выхода этой волны на свободную поверхность вновь происходит ее скачкообразное увеличение. По отколовшемуся слою продолжают циркулировать ударная волна и волна разряжения с некоторой амплитудой, в результате изменяется картина свободной поверхности пластинки.

Наиболее простым методом определения величины откольной прочности является расчетно-экспериментальный метод. Он основан на вычислении величины напряжения в сечении образования откола, толщина которого определяется экспериментально. Исследование методами металлографического анализа области откольного разрушения дает информацию об изменениях в материалах, вызванных процессами ударного сжатия и последующего растяжения. Регистрация степени поврежденности материала в зоне разрушения в разных опытах в зависимости от интенсивности напряжений дает информацию о кинетике и характере развития процесса разрушения. Чем быстрее происходит рост растягивающих напряжений в области взаимодействия волн разряжения, тем тоньше величина отколовшегося слоя и тем меньше шероховатость поверхности разрушения. Идеально гладкой эта поверхность может быть при

взаимодействии так называемых ударных волн разрежения, в которых спад давления происходит не постепенно, а скачком, как в ударной волне.

Откольные разрушения имеют место в ответственных установках и конструкциях, которые работают в экстремальных нестационарных условиях. Поэтому интерес к исследованиям поведения материалов и конструкций

при волновых воздействиях очень большой. Дальнейшее развитие этого направления должно включать в себя расширение исследований по разработке моделей поведения конструкционных материалов в условиях интенсивных волновых нагрузок, что позволит повысить роль численного эксперимента.

Литература

1. Мусаев В.К. О разрушениях в сложных деформируемых телах вызванных импульсными воздействиями // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2006. – № 1. – С. 36–42.
2. Мусаев В.К. О разрушениях в сложных системах вызванных волнами напряжений // Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго- и ресурсосбережение: ТЗ8. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Выпуск VIII. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2006. – С. 480–484.
3. Мусаев В.К. О физической картине распространения импульсных воздействий в сложных системах // Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго- и ресурсосбережение: ТЗ8. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Выпуск VIII. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2006. – С. 484–488.
4. Мусаев В.К. Вычислительный эксперимент в задачах моделирования нестационарных волн напряжений в областях сложной формы // Исследования по теории сооружений. – 2010. – № 2 (XXVII). – С. 138–149.

Материал поступил в редакцию 28. 07. 2012 г.