

Система измерения деформаций и усилий при динамических испытаниях материалов

Е. А. Кондряков^а, В. Н. Жмака^а, В. В. Харченко^а, А. И. Бабуцкий^а,
С. В. Романов^б

^а Институт проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, Киев, Украина

^б Ассоциация «Надежность машин и сооружений», Киев, Украина

Разработана многоканальная система высокоскоростной регистрации деформаций и усилий при испытаниях материалов на ударную вязкость. Для регистрации сигналов использовался четырехканальный аналого-цифровой преобразователь. Испытания проводили на ротационном и вертикальном копрах при разных скоростях нагружения и температурах. Представлены некоторые результаты ударных испытаний образцов типа Шарпи с регистрацией изменения усилий на опорах в процессе испытаний.

Ключевые слова: ударная вязкость, образец типа Шарпи, нагрузка, температура, многоканальная система регистрации.

Введение. Анализ известных экспериментальных данных показал, что даже при общем хрупком характере разрушения материала в вершине концентраторов (надраз, трещина) присутствуют значительные пластические деформации, достигающие десятки и даже сотни процентов, наблюдаются локализация деформации и полосы сдвига, вытяжка берегов трещин и вязкий их подрост. До настоящего времени отсутствует единая точка зрения на критерии перехода от вязкого разрушения к хрупкому, особенно при динамическом нагружении. Имеющиеся результаты исследований не позволяют полностью объяснить это явление, остается много открытых вопросов, в частности совместное влияние скорости деформаций, температуры и жесткости напряженного состояния на процесс динамического деформирования и разрушения материалов.

Для изучения особенностей деформирования и разрушения материалов как при статических, так и динамических нагрузках необходимо располагать обширной информацией, полученной из экспериментов. Стандартные испытания образцов типа Шарпи на ударную вязкость широко используются при определении механических свойств конструкционных материалов, в частности при оценке охрупчивания основного металла и металла сварных швов корпусов реакторов АЭС по сдвигу критической температуры хрупкости вследствие радиационного и термического воздействия в процессе эксплуатации. Однако такие испытания обычно дают достаточно ограниченную информацию для анализа влияния различных факторов на поведение материалов. В результате испытаний определяют энергию, затрачиваемую на разрушение образцов [1–5], а по виду их излома – долю вязкой составляющей в изломе или значение поперечного расширения образца в зоне излома [6].

Использование инструментированных копров с записью диаграммы нагрузка–время позволяет определять не только энергию разрушения, но и ряд

таких важных для анализа параметров, как нагрузка, соответствующая общей текучести, максимальная нагрузка, уровни нагрузки в моменты старта и остановки хрупкого разрушения. С помощью диаграммы нагрузка–время можно разделить энергию, затраченную на деформирование и разрушение образца, на составляющие, связанные с зарождением и распространением трещины.

Увеличить объем информации, получаемой при таких испытаниях для ее последующего анализа, можно путем оснащения стандартного испытательного оборудования современными средствами регистрации данных [1–3, 5, 6].

Разработка системы регистрации данных при ударных испытаниях.

С этой целью в Институте проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины была разработана многоканальная система высокоскоростной регистрации деформации и температур при испытаниях материалов на ударную вязкость, установленная на вертикальном и ротационном копрах. На рис. 1 приведена схема регистрации данных при испытаниях с использованием такой системы. Для регистрации усилия на ноже и опорах копра наклеивались тензодатчики. Информация об усилиях на ноже и опорах, а также о температуре у вершины надреза через блок усиления, плату аналого-цифрового преобразователя (АЦП) подается в персональный компьютер, где после обработки с использованием соответствующей программы хранится в табличном и (или) графическом виде, удобном для последующего анализа. Кроме того, с целью повышения чувствительности и усиления регистрируемого сигнала были доработаны конструкции опор на ротационном и вертикальном копрах.

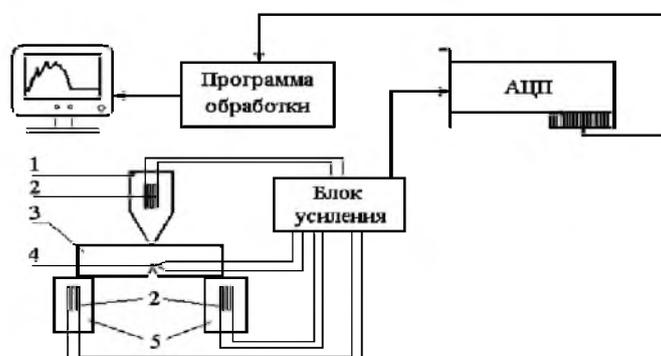


Рис. 1. Схема регистрации данных о нагружении образцов при испытаниях на ударный трехточечный изгиб: 1 – нож копра; 2 – тензодатчики; 3 – образец; 4 – термопара; 5 – опоры копра.

Одним из ключевых компонентов рассматриваемой схемы регистрации данных является блок усиления сигналов.

Для усиления сигналов тензодатчиков и термопар до уровня порядка 1В, что требуется для нормальной работы АЦП типа NuDAQ PCI 9812/10 фирмы ADLink Technology Inc., использовался быстродействующий усилитель, блок-схема которого приведена на рис. 2. Усилитель содержит два канала усиления сигналов тензодатчиков и два канала усиления сигналов термопар типа К (хромель-алюмель).

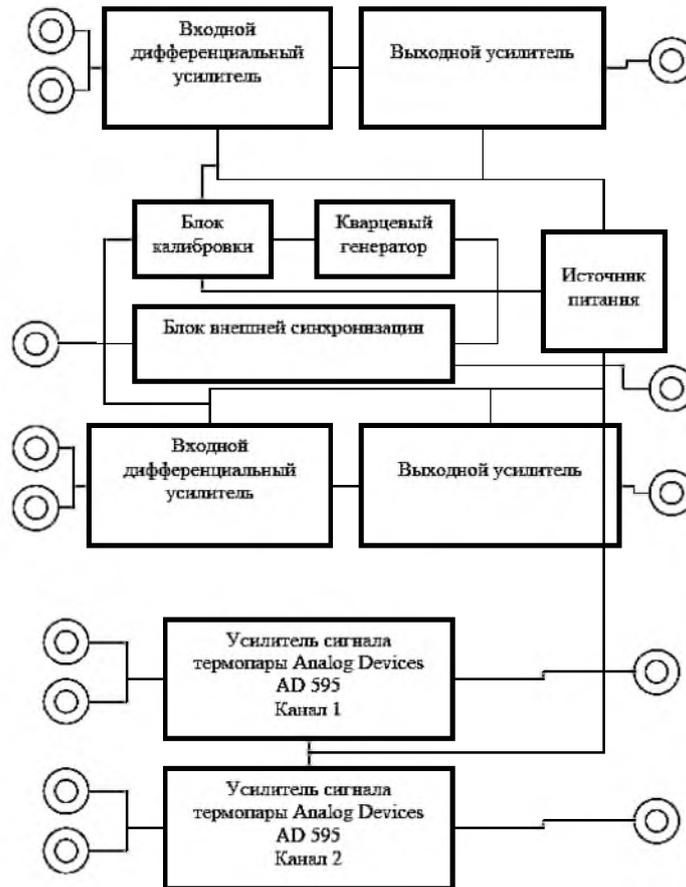


Рис. 2. Блок-схема усилителя сигналов тензодатчиков и термопар для работы с АЦП.

С целью подавления синфазных помех каждый из каналов усиления сигналов тензодатчиков содержит входной и выходной усилители, собранные на прецизионных малошумящих операционных усилителях (ОУ). Имеется возможность ступенчато изменять коэффициент усиления каналов с $k = 121$ до 484.

Для калибровки усилителей по амплитуде используются внутренний кварцевый генератор прямоугольных калибровочных импульсов и блок калибровки, с помощью которого к входу усилителей подключается набор калибровочных резисторов различных номиналов.

Блок внешней синхронизации позволяет осуществить запуск регистрирующего устройства сигналом с внешнего контактного датчика, работающего на замыкание или размыкание, и обеспечить временную задержку импульса запуска.

Каждый из четырех каналов усиления сигналов термопары представляет собой инструментальный усилитель с компенсацией напряжения холодного спая производства фирмы Analog Devices – AD595. Такая микросхема представляет собой откалиброванный усилитель, который обеспечивает получение выходного напряжения высокого уровня ($10 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$) непосредственно

венно с выхода термопары. Усилитель AD595 включает в себя датчик повреждения термопары, который позволяет контролировать подсоединение концов термопары к микросхеме. Кроме того, подключение двухполярного источника питания дает возможность измерять отрицательную температуру.

Каждый из каналов усиления позволяет получить на выходе сигнал амплитудой порядка 1 В, что достаточно для нормальной работы АЦП типа NuDAQ PCI 9812/10, осуществить оцифровку сигнала, ввод в компьютер, последующую его обработку и анализ с применением различного программного обеспечения. Ниже приведены некоторые характеристики АЦП:

Число каналов (вход/выход)	4
Максимальная частота опроса	20 МГц
Разрядность	12 бит
Диапазон аналогового входа	± 5 или ± 1 В
Триггер запуска	Аналоговый/цифровой

Путем многократных доработок удалось добиться значительного снижения уровня помех. Проведены необходимые калибровки и тарировки, в том числе с помощью установки для механических испытаний Tiratest. Благодаря нескольким каналам регистрации можно записывать сигналы одновременно с ножа и опор копра при проведении ударных испытаний образцов типа Шарпи.

Результаты опробования системы регистрации. Была проведена серия экспериментов на вертикальном копре. В качестве модельного материала использовали сталь 45.

Учитывая высокие характеристики быстродействия системы и возможность накопления большого объема данных, можно избирательно рассматривать полученный сигнал длительностью в несколько миллисекунд в интересующих нас очень узких временных диапазонах (порядка единиц и десятков микросекунд), что позволяет оценивать скорость распространения трещин.

На рис. 3 представлены характерные диаграммы изменения усилий при вязком и хрупком разрушении, включая участки резкого падения нагрузки во время проскока трещины при хрупком разрушении образца. Средняя скорость распространения хрупкой трещины составила 450 м/с.

По результатам регистрации изменения нагрузки на опорах в процессе испытаний можно изучать особенности деформирования и разрушения материала с учетом влияния скорости деформации и температуры. В частности, из представленных экспериментальных диаграмм (рис. 4) видно, что при температурах 60 и 100°C происходит развитие вязкой трещины, а при комнатной температуре четко прослеживается проскок трещины, свойственный хрупкому разрушению. Это было подтверждено анализом изломов испытанных образцов.

Таким образом, использование разработанной системы высокоскоростной регистрации параметров нагружения образцов позволяет получать дополнительную информацию о процессах деформирования и разрушения материалов при ударном нагружении.

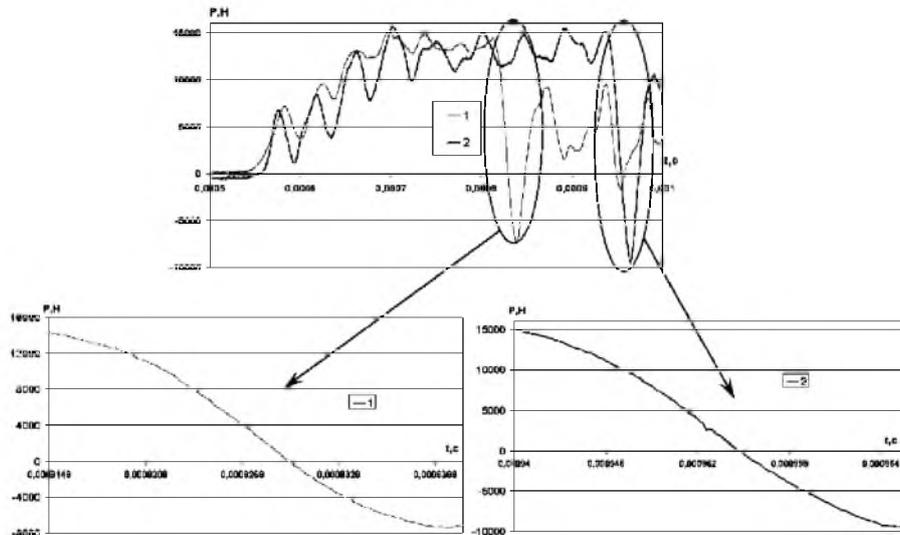


Рис. 3. Данные регистрации нагрузки на опорах копра при испытаниях образцов типа Шарпи из стали 45, а также увеличенные по времени участки сигнала, соответствующие проскоку трещины. (Здесь и на рис. 4: 1, 2 – исследуемые образцы.)

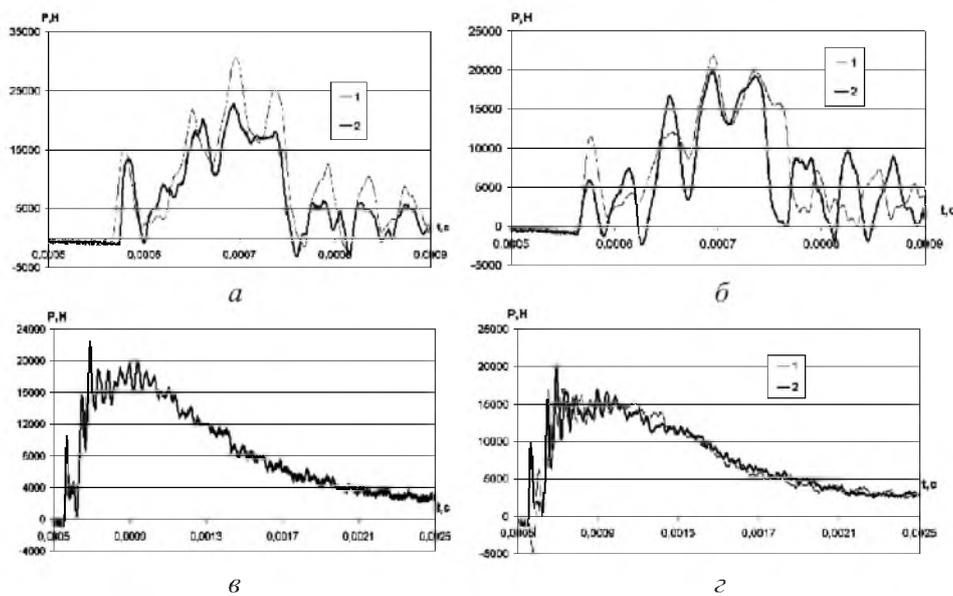


Рис. 4. Данные регистрации нагрузки на опорах копра при испытаниях образцов типа Шарпи из стали 45 при различных температурах и скоростях деформирования: а – $T = 200^{\circ}\text{C}$, $V = 4,5$ м/с; б – $T = 20^{\circ}\text{C}$, $V = 3$ м/с; в – $T = 60^{\circ}\text{C}$, $V = 3$ м/с; г – $T = 100^{\circ}\text{C}$, $V = 3$ м/с (V – скорость ударника).

Резюме

Розроблено багатоканальну систему високошвидкісної реєстрації деформацій і зусиль при випробуваннях матеріалів на ударну в'язкість. Для реєстрації сигналів використовували чотириканальний аналого-цифровий перетво-

рювач. Проведено випробування на ротаційному і вертикальному копрах при різних швидкостях навантаження і температурах. Представлено деякі результати ударних випробувань зразків типу Шарпі з реєстрацією зміни зусиль на опорах у процесі випробувань.

1. *Kobayashi T.* Development in the instrumented impact test-computer aided instrumented impact testing system // Proc. Charpy Centenary Conf. (Poitiers, France, 2–5 Oct. 2001). – Poitiers, 2001. – P. 127 – 134.
2. *Server W. L.* Instrumented Charpy test review and application to structural integrity // Proc. Charpy Centenary Conf. (Poitiers, France, 2–5 Oct. 2001). – Poitiers, 2001. – P. 843 – 850.
3. *Morita S., Otani M., and Kobayashi T.* Problems related to the measurement of load signal in the instrumented Charpy impact test // Proc. Charpy Centenary Conf. (Poitiers, France, 2–5 Oct. 2001). – Poitiers, 2001. – P. 135 – 142.
4. *Schindler H.-J. and Bertschinger P.* Relation of fracture energy of sub-sized Charpy specimens to standard Charpy energy and fracture toughness // NATO-Workshop on Transferability of Fracture Mechanical Data (Brno, 5–6 Nov. 2001). – Brno, 2001 – P. 213 – 225.
5. *Böhme W. and Schindler H.-J.* Application of single specimen methods on instrumented Charpy tests: Results of a DVM Round Robin exercise // Pendulum Impact Testing: A Century of Progress, ASTM STP 1380 (Seattle, 19–20 May 1999). – Seattle, 2000. – P. 327 – 336.
6. *Tanguy B., Piques R., and Pineau A.* Experimental analysis of Charpy V-notch specimens // Proc. Charpy Centenary Conf. (Poitiers, France, 2–5 Oct. 2001). – Poitiers, 2001. – P. 425 – 432.

Поступила 27. 12. 2004