

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СЖАТИИ

*Тарасенко Е.А., Чжуан Юйсян*

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** хрупкие материалы, различные скорости нагружения, одноосное сжатие, разрушение, испытание на акустическую эмиссию, механические характеристики, характеристики акустической эмиссии.

**Аннотация.** Представлены результаты исследований закономерностей акустической эмиссии при испытании на сжатие образцов с заданными скоростями нагружения. В ходе испытания образцов из чугуна при одноосном сжатии использован метод контроля акустической эмиссии, изучались механические и акустические характеристики материала при различных скоростях нагружения. Экспериментальные данные обрабатываются программным обеспечением MATLAB.

## RESEARCH OF MECHANICAL AND ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF FRAGILE MATERIALS UNDER COMPRESSION

*Tarasenko E.A., Zhuang Yuxiang*

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg*

**Keywords:** brittle material Different loading rates Uniaxial compression destruction acoustic emission test Mechanical properties Acoustic emission characteristics

**Abstracts.** The results of studies of acoustic emission patterns during compression testing of samples with specified loading speeds are presented. Through the uniaxial compression failure acoustic emission test of three brittle materials of cast iron, the mechanical and acoustic emission characteristics of the compression failure of different brittle materials at different loading rates were studied. The experimental data are processed by MATLAB software.

Чугун широко используется в машиностроении и в различных строительных конструкциях. Как внутри, так и на поверхности чугуна присутствует большое количество микропустот и микротрещин, которые в процессе деформации сжатия значительно влияют на нелинейные характеристики материала. На механические свойства чугуна также влияют различные внешние и внутренние факторы, такие как скорость нагружения, плотность материала и т. д. Очевидно, что сложно полностью охарактеризовать механические свойства различных хрупких материалов, поэтому необходимо более полно исследовать их. Понимание характеристик и более глубокое изучение механики разрушения хрупких материалов при различных скоростях нагружения являются одной из важных областей исследования механики материалов [1, 2].

В условиях действия различных внешних сил хрупкий материал очень легко теряет стабильность и вызывает разрушение деталей машин, строительных конструкций, поэтому необходимо отслеживать процесс динамического изменения хрупкого материала в процессе его нагружения. Метод акустической эмиссии позволяет наблюдать динамическое развитие внутренних дефектов во

время нагружения и повреждение хрупких материалов в режиме реального времени, а также может своевременно собирать информацию о повреждении хрупких материалов, обеспечивая теоретическую основу и гарантию безопасности для различных проектов [3].

В работе представлены результаты исследований закономерностей акустической эмиссии при испытании на сжатие образцов с заданными скоростями нагружения.

Для испытаний изготовлены образцы из чугуна цилиндрической формы номинальным диаметром  $D$  20 мм и высотой  $H$  40 мм. Образцы для испытаний из чугуна были соответственно промаркированы как №№ 1, 2, 3, 4, 5, 6 (рис. 1). Крепление инструмента для измерения скорости звука на образце представлено на рисунке 2. Размер и плотность образцов для испытаний приведены в таблице 1.



Рис. 1. Общий вид образцов из чугуна перед испытанием

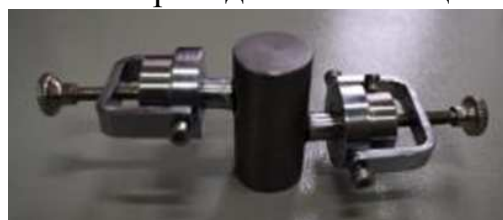


Рис. 2. Крепление инструмента для измерения скорости звука

Табл. 1. Основные параметры и схема нагружения образцов из чугуна

Номер теста	$D$ , мм	$H$ , мм	$\rho$ , $10^3$ кг/м <sup>3</sup>	$v$ , мм/с
1	20.00	40.14	7.10	0.5
2	20.00	40.10	7.09	0.6
3	20.00	40.16	7.03	0.7
4	20.00	40.20	7.06	0.8
5	20.00	40.14	7.10	0.9
6	20.00	40.20	7.09	1.0

Экспериментальные исследования проводились на трехосной испытательной машине SAM-2000 (рис. 3), используемой для испытания на одноосное сжатие, управляемой микрокомпьютером серии Changchun Kexin sam-2000 (хост типа m). Оборудование для испытаний может отображать одновременно несколько кривых в режиме реального времени.

Основные технические показатели. 1. Скорость непрерывной передачи данных превышает 48 МГц. 2. Система получения сигнала восьмиканальная с частотой дискретизации 3 МГц. Режим сбора данных акустической эмиссии – многоканальный синхронный режим. Все методы запуска, используемые в этом испытании, являются внешними.

Перед испытанием выполняется калибровка скорости звука. В связи с различными размерами испытательных образцов, два датчика сначала располагаются на расстоянии 10 мм от верхнего и нижнего концов чугунного образца, как показано на рисунке 2. Внешний шум проверяется до калибровки скорости звука. При значении окружающего шума ниже 4мБ достигается наилучший результат, а затем выполняется калибровка скорости звука для получения скорости звука каждого образца из чугуна.

Скорость звука в образце из чугуна, измеренная с помощью калибровочного теста скорости звука, показана в таблице 2.

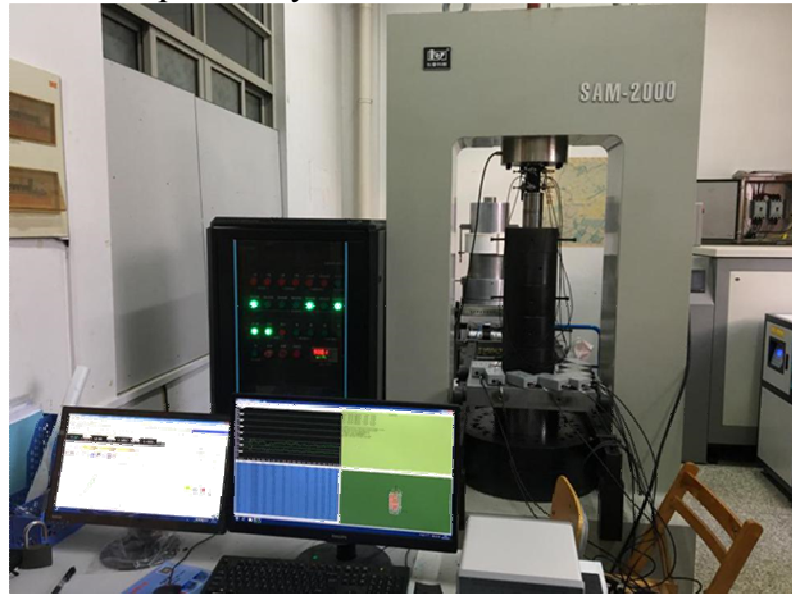


Рис. 3. Оборудование для испытаний

Табл. 2. Значение калибровки скорости звука для образца из чугуна

Номер	Скорость звука, м/с
1	2037
2	1995
3	2096
4	2023
5	2018
6	2103

Напряжения и деформации образцов чугуна при различных скоростях нагружения, полученных с помощью программного обеспечения Matlab, представлены на рисунке 4. Максимальную пиковую нагрузку испытывал образец №1 - 188 кН, минимальную - образец №2, которая составила 143 кН. Прочность на сжатие составляет максимум 599 МПа, а прочность на сжатие - минимум 455 МПа. Максимальная степень сжатия составляла 0,034%, а минимальная - 0,012% (рис. 5).

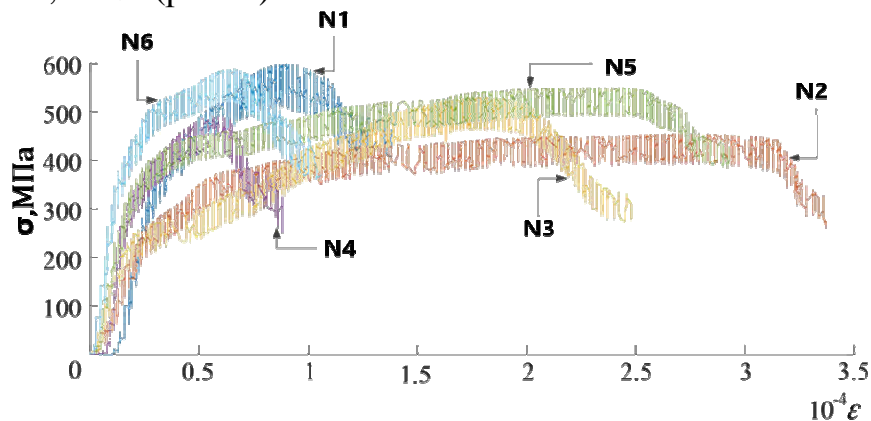


Рис. 4. График зависимости напряжения от относительной деформации образца из чугуна

Кривая напряжения-деформации чугунного материала в испытании на одноосное сжатие состоит из четырех частей.

**1. Стадия упругой деформации.** На начальной стадии загрузки образцов из чугуна кривая напряжения-деформации идет по линейному закону. Графики напряжения-деформации для отдельных испытательных образцов на этом участке в основном совпадают, что указывает на то, что внутренняя структура чугуна является относительно однородной, а трещины и поры в основном отсутствуют. На этом участке угол наклона для различных образцов практически одинаковый. Это показывает, что на этом участке модуль упругости образца для испытаний из чугуна практически не изменяется.

**2. Стадия пластической деформации.** На этом участке изменение напряжения от деформации становится медленней. Угол наклона кривой напряжения-деформации образца на много меньше, что указывает на то, что с увеличением времени нагружения осевое напряжение увеличивается, и модуль упругости чугуна постепенно уменьшается. Это связано с тем, что на испытательном оборудовании чугунный образец постоянно находится под давлением, поэтому происходит пластическая деформация, а упругость медленно теряется, поэтому модуль упругости постепенно уменьшается.

**3. Стадия неустойчивости и разрушения.** На этом участке кривая напряжения-деформации практически параллельна горизонтальной оси. По мере увеличения осевого напряжения явление выпуклости чугуна становится все более очевидным, и мелкие трещины на поверхности начинают расширяться до тех пор, пока образец чугуна не подвергнется смещению и разрушению, а трещина сопровождается слабым звуком.

**4. Стадия после разрушения.** После того, как образец сжимается испытательной машиной и разрушается, осевое напряжение начинает уменьшаться. Следовательно, можно видеть, что кривая напряжения-деформации образца для испытаний резко уходит вниз.

Ниже представлен (рис. 6) внешний вид образцов во время и после испытаний. Образцы имеют бочкообразную форму, угол под которым происходит разрушение образцов составляет  $45^{\circ}$  (при малом трении на торцах) и более  $45^{\circ}$  (при большой величине трения на торцах).

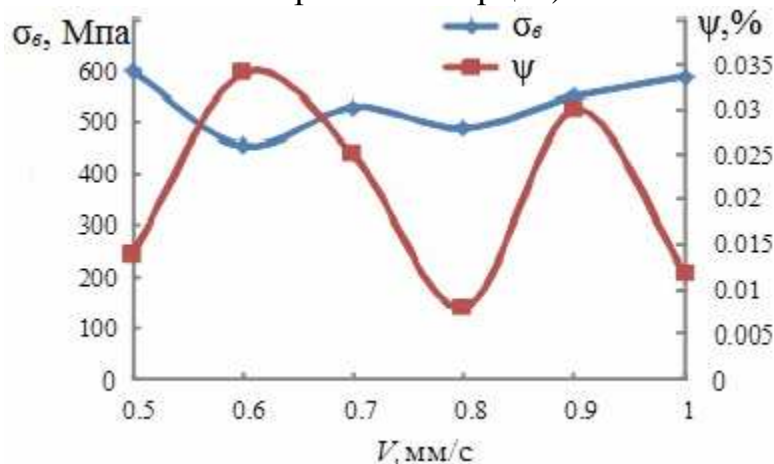


Рис. 5. Графики зависимости  $\sigma_s$  и степени сжатия  $\psi$  от скорости нагружения



а)



б)

Рис. 6. Образцы из чугуна во время (а) и после (б) испытания

На примере чугуна были изучены механические и акустические эмиссионные характеристики металлических материалов при различных скоростях нагружения. Анализ механических свойств и характеристик акустической эмиссии образцов из чугуна справочную информацию и руководство по расчету прочности металлических материалов в машиностроении.

#### Список литературы

1. Ли Юнде, Чжан Синью, Ван Вэй, Чжу Сюэю, Мао Чжэннинг. Оценка максимального размера графита и прогнозирование усталостной прочности чугуна // Журнал Инженерного университета Хэбэя (Natural Science Edition), 2018, 35 (01): 103-108.
2. Ли Цзэнли, Ли Керуи, У Сяньлун. Разработка и применение системы управления дефектами чугунного литья // Foundry Technology, 2016, 37 (02): 393-395.
3. Обзор применения акустической эмиссии для выявления микро- и нанодефектов / А.Г. Шайко-Шайковский, А.Т. Богорош, С.А. Воронов, К.В. Марченко // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – №1(13). – С. 47-57.

#### Сведения об авторах:

*Тарасенко Елена Александровна*, к.т.н., доцент Института машиностроения, материалов и транспорта, СПбПУ, г.Санкт-Петербург.

*Чжуан Юйсян* – магистр СПбПУ, г.Санкт-Петербург.