

УДК 621.357.482.2

**Д.Л. Соловьев, д-р техн. наук, профессор**

*Муromский институт (филиал) Владимирского государственного университета*

*E-mail: murstin@yandex.ru*

**А.А. Шумилов, аспирант,**

**И.М. Билоник, канд. техн. наук, доцент**

*Запорожский национальный технический университет*

*E-mail: mech@zntu.edu.ua*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИССИПАТИВНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УДАРНЫХ НАГРУЗОК**

*Дана сравнительная оценка диссипативных свойств материалов при ударном воздействии. Представлены результаты сравнений диссипативных свойств стали 45, чугуна СЧ10, меди и титана ВТ1-0.*

**Ключевые слова:** ударный импульс, рассеивание энергии, образец, методика

Во многих современных машинах и механизмах используется энергия ударного импульса. Однако, кроме выполнения полезной работы ударным импульсом, возникает проблема уменьшения негативного воздействия отраженной ударной волны, так как отраженный ударный импульс приводит к преждевременному разрушению деталей и оборудования. Одним из эффективных способов нейтрализации отраженного ударного импульса, является применение материалов, обладающих высокими демпфирующими свойствами.

Поэтому, разработка методик, оборудования и проведение исследований диссипативных характеристик конструкционных материалов, применяемых для изготовления машин и механизмов, работающих в условиях ударного нагружения, является важной и актуальной задачей.

В настоящее время существуют различные методы определения демпфирующих свойств материалов. Наиболее распространенным является метод затухающих колебаний. Его суть заключается в записи виброграмм свободных затухающих колебаний исследуемых образцов, по которым может быть определен логарифмический декремент затухания колебаний [1].

Метод статической петли гистерезиса предусматривает непосредственное получение петли гистерезиса в координатах внешняя сила  $P$  – перемещение  $S$  путем замера соответствующих перемещений или деформаций при ступенчатом статическом нагружении и разгрузке образца. Демпфирующие свойства материала характеризуются относительной величиной рассеяния энергии определяемого как отношение площади петли гистерезиса к упругой энергии, соответствующей амплитуде перемещения. Этот метод требует повышенной точности замеров деформации и не позволяет изучать влияние на демпфирующие свойства образца частоты колебаний.

*Цель исследований* – оценка диссипативных свойств металлов при ударах.

Для исследования рассеяния энергии при напряжениях, равных пределу выносливости или выше, используют метод динамической петли гистерезиса. В этом случае путем одновременной регистрации напряжения и деформации в процессе повторно-переменного нагружения образца получают экспериментальную петлю гистерезиса, площадь которой характеризует рассеяние энергии в материале исследуемого образца.

Рассеяние энергии при колебаниях обычно сопровождается нагревом исследуемого образца. Степень нагрева зависит от количества тепла, выделяющегося в единицу времени, т.е. зависит от частоты колебаний. На измерении количества тепловой энергии выделяющейся в образце в процессе колебаний и основаны термические методы определения оценки демпфирующих свойств материала.

Энергетический метод определения диссипативных свойств основан на непосредственном замере расхода электрической или механической энергии источника на поддержание колебаний исследуемого образца. При этом только часть мощности  $N_1$  источника расходуется на поддержание колебаний, а остальная  $N_2$  расходуется на преодоление сопротивлений в самом источнике. Относительное рассеяние энергии в материале исследуемого образца при его колебаниях определяется формулой [1]:

$$\varphi = \frac{N_1 - N_2}{fW},$$

где  $f$  – частота установившихся колебаний образца;  $W$  – потенциальная энергия деформированного образца, соответствующая амплитуде установившихся колебаний.

Однако приведенные выше методики позволяют определять рассеивание энергии в материалах при вибрационной нагрузке, что применительно к ударному воздействию не дает полной картины

свойств. Поэтому, нами была поставлена цель разработать методику, позволяющую провести сравнительную оценку диссипативных свойств материалов при ударном нагружении.

В основу разрабатываемой методики сравнительной оценки диссипативных свойств материалов при ударном воздействии, положена оценка передачи энергии от бойка к регистрирующему элементу через волновод. В зависимости от способности материала волновода рассеивать энергию ударного импульса, соответственно, изменяются параметры регистрируемого ударного импульса. Научные и практические результаты [2–4], полученные при исследовании энергетических параметров ударных импульсов в различных схемах нагружения, с различными по конструкции бойками и волноводами, позволили реализовать экспериментальную часть разрабатываемой методики.

Сравнительные исследования диссипативных свойств образцов из стали 45, серого чугуна СЧ10, меди М1 и титана ВТ1-0 проводили на специальном стенде для изучения волновых процессов в ударных системах. Стенд разработан в Муромском институте (филиале) Владимирского Государственного Университета [5]. На рисунке 1 приведена схема стенда для исследования волновых процессов в ударных системах.

Стенд (рисунок 1) содержит волновод 1, со скругленным внизу торцом или с жестко закрепленным индентором и боек 2, который свободно перемещается по направляющим 3, закрепленным на раме 4 и плите 5. Нагружаемая поверхность 6 с датчиком 7 расположена между плитой 5 и основанием 8, соединенным между собой болтами 9. На волноводе 1 размещена пружина 10, нагружаемая упором 11, соединенным со втулками 12, смонтированными на стойках рамы 4. Упор 11 имеет возможность перемещения по стойкам рамы под действием силы со стороны втулок 12 и гаек 13.

Датчик 7, изолированный от внешнего влияния на регистрируемые волновые процессы прорезиненными прокладками 14, подсоединен к регистрирующему осциллографу типа АСК-3107-Л (поз. 15).

Режим регистрации ударного импульса реализуется следующим образом. Нагружаемая ударным импульсом пластина со вклеенным пьезометрическим датчиком 7 помещается на основание 8 и зажимается сверху плитой 5 с помощью болтов 9. Боек 2 отводится на заданное расстояние от волновода 1 и под тяжестью собственного веса производит удар по его торцу. При этом в волноводе формируется ударный импульс.

Пройдя через волновод 1, ударный импульс достигает нагружаемой поверхности 6. Регистрация процессов, происходящих в системе «бойк–волновод–нагружаемая поверхность», осуществляется путем преобразования механического воздействия в электрический заряд посредством пьезоэлектрического датчика. Строгая соосность бойка 2, волновода 1 и пьезоэлектрического датчика 7 обеспечивает минимальное искажение регистрируемого ударного импульса.

Таблица 1 – Характеристики экспериментального стенда для изучения волновых процессов в ударных системах [5]

№	Фактор	Диапазон величины
1.	Энергия удара, Дж	до 12
2.	Сила удара, Н	до $4,3 \cdot 10^5$
3.	Длительность ударного импульса, с	$10^{-5} \dots 10^{-3}$
4.	Скорость удара, м/с	до 5,4
5.	Величина предварительной статической нагрузки, Н	до 1200
6.	Длины: – бойка, мм – волновода, мм	60; 80; 120; 180; 240; 320; 360 60; 80; 120; 180; 240; 320; 360
7.	Диаметры в поперечном сечении: – бойка, мм – волновода, мм	18; 22; 31 18; 22; 31

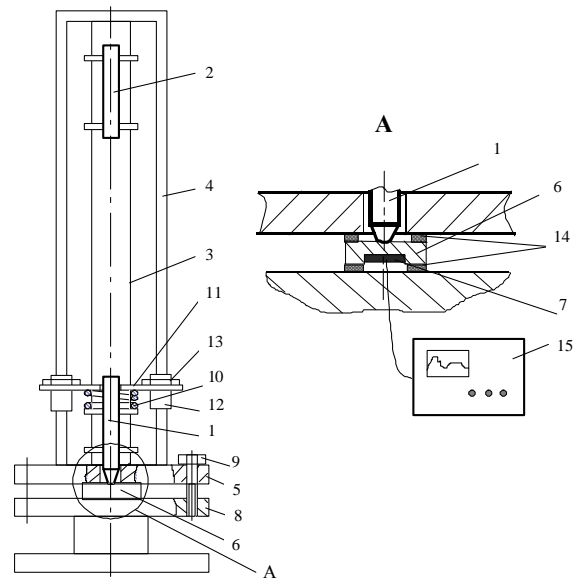


Рисунок 1 – Схема стенда

В качестве тарировочного импульса использовали прямоугольный импульс, генерируемый бойком цилиндрической формы. Амплитуда этого импульса:

$$P_k = C_1 v e^{-b a_1 T}, \quad (1)$$

$$C_1 = \rho_1 F_1 a_1; \quad a_1 = \sqrt{\frac{E_1}{\rho_1}}; \quad b = \frac{k}{E_1 F_1},$$

где  $v$  – скорость ударов;  $C_1$  – ударная жесткость бойка;  $T$  – длительность ударного импульса;  $a_1$  – скорость распространения ударной волны в бойке;  $E_1$  – модуль упругости материала бойка;  $\rho_1$  – плотность материала бойка;  $F_1$  – площадь поперечного сечения бойка;  $k$  – коэффициент, характеризующий сопротивление обрабатываемого материала внедрению индентора.

Следовательно, имея осциллограмму тарировочного импульса, с тем же увеличением, что и обрабатываемые осциллограммы, можно определить масштаб полученных осциллограмм. График зависимости сил в контакте тарировочного импульса от амплитуды измеряемого сигнала представлен на рисунке 2.

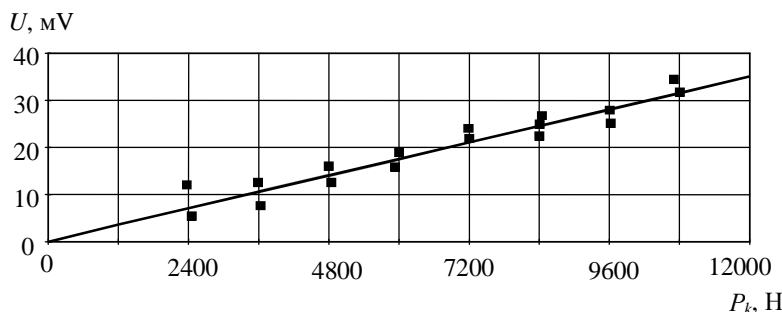


Рисунок 2 – Зависимость напряжения на осциллографе от силы регистрируемого ударного импульса

При проведении исследований регистрировали ударный импульс для следующих материалов волноводов: сталь 45 (нагрев до 830°C, закалка в воду) (образец № 1); чугун СЧ10 (образец №2); медь М1 (образец № 3); титан ВТ1-0 (образец № 4).



Рисунок 3 – Образцы для испытаний

Внешний вид образцов для испытаний приведен на рисунке 3.

В исследуемых образцах ударный импульс генерировался в результате соударения цилиндрических бойка и волновода равных диаметров (22 мм), длина бойка составляла 240 мм, а длина волновода 60 мм.

Полученные в результате экспериментальных исследований осциллограммы ударных импульсов приведены на рисунке 4.

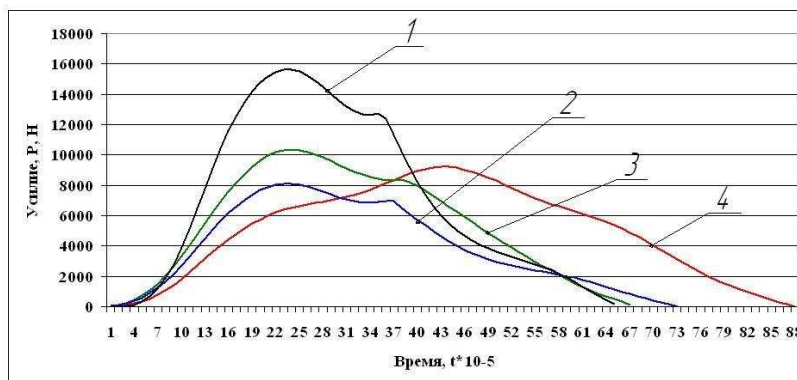


Рисунок 4 – Экспериментальные осциллограммы

По полученным в ходе проведенных испытаний осциллограммам можно провести сравнительную оценку рассеивания энергии ударного импульса для различных материалов, приняв за эталонный образец из стали 45 (закаленный), как имеющий максимальное значение величины регистрируемого ударного импульса, и соответственно как материал обладающий минимальными диссипативными свойствами из

исследованной группы материалов. Расчетные величины энергий ударного импульса после его прохождения через волноводы из исследуемых материалов представлены на диаграмме (рисунок 5).

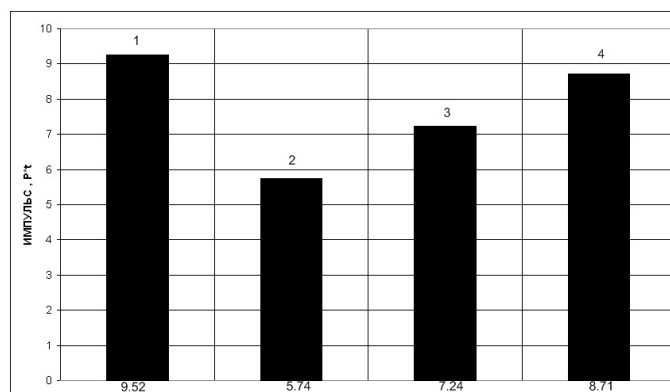


Рисунок 5 – Расчетные величины ударного импульса (1 – сталь 45 ( закалка 850°C, охлаждение в воде), 2 – серый чугун СЧ10, 3 – медь М1, 4 – титан ВТ1-0)

Согласно полученным экспериментальным данным наибольшими диссипативными свойствами обладает серый чугун, что связано с резко выраженной гетерогенной структурой с графитовой составляющей. Решающее значение для уровня демпфирования в чугунах оказывают количество графита и его морфология (рисунки 6 и 7).[6]

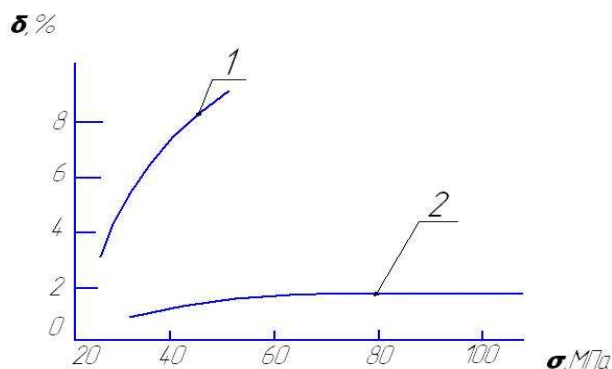
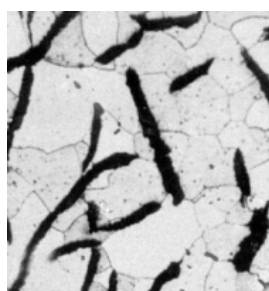
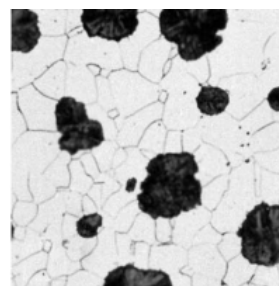


Рисунок 6 – Зависимость логарифмического декремента затухания колебаний ( $\delta$ ) от напряжений в образце ( $\sigma$ ) для чугунов с различной формой включений графита (1 – чугун с пластинчатым графитом; 2 – чугун с шаровидным графитом)



×150  
а)



×150  
б)

Рисунок 7 – Структуры чугунов с различной формой включений графита: а) чугун с пластинчатым графитом; б) чугун с шаровидным графитом)

Средними по величине диссипативными свойствами, согласно полученным результатам, обладает медь и титан. Для однородных материалов характеристикой, которая определяет рассеяние энергии, является плотность материала, что подтверждается результатами, приведенными на рисунке 5.

**Выводы**

Методика исследования ударных импульсов, генерируемых различными ударными системами, разработанная Муромским институтом (филиалом) Владимирского университета позволяет оценивать диссипативные свойства материалов при действии ударных нагрузок. Наибольшее значение рассеивания энергии ударного импульса наблюдается в сером чугуна, минимальное в стали 45 в закаленном состоянии, промежуточные значения рассеивания энергии имеют титан и медь.

Таким образом, для изготовления деталей и механизмов ударных систем, для которых нейтрализация ударного импульса является необходимым условием, предлагается использование композита на основе низкоуглеродистой стали с гранулами из серого чугуна.

**Библиографический список использованной литературы**

1. Писаренко Г.С. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов: справочник / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. — К.: Наукова думка, 1971. — 375 с.
2. Киричек А.В. Управляемое ударное воздействие при упрочнении поверхностным пластическим деформированием / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев // Известия ОрелГТУ. Машиностроение. Приборостроение. — Орел, 2003. — № 1-2. — С. 30–36.
3. Киричек А.В. Энергетические характеристики процесса статико-импульсной обработки / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.Н. Афонин // СТИН. — 2003. — № 7. — С. 31–35.
4. Киричек А.В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием. Библиотека технолога / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.Г. Лазуткин. — М.: Машиностроение, 2004. — 288 с.
5. Механика нагружения поверхности волной деформации / А.Г. Лазуткин, А.В. Киричек, Ю.С. Степанов, Д.Л. Соловьев. — М.: Машиностроение-1, 2005. — 149 с.
6. Головин С.А. Упругие и демпфирующие свойства конструкционных металлических материалов / С.А. Головин, А. Пушкар, Д.М. Левин. — М.: Металлургия, 1987. — 190 с.

*Поступила в редакцию 20.05.2013 г.*

**Соловйов Д.Л., Шумилов А.А., Билоник І.М. Дослідження дисипативних властивостей матеріалів при впливі ударних навантажень**

Розглядається методика порівняльної оцінки дисипативних властивостей матеріалів при ударному впливі. Представлені результати порівняльних досліджень дисипативних властивостей сталі 45, чавуну СЧ10, міді й титану VT1-0.

**Ключові слова:** ударний імпульс, розсіювання енергії, зразок, методика.

**Soloviov D., Shumilov A., Bilonik I. Probe of dissipative properties of materials at influence of shock loadings**

Materials at influence of shock loadings is examined method of comparative estimation of dissipative properties of materials at shock influence. The results of comparative researches of dissipative properties are presented 45 became, cast-iron of SCh10, copper and titan VT1-0.

**Keywords:** shock impulse, dispersion of energy, standard, method.