

## РАСЧЕТЫ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В РАСЧЕТАХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В.А. Коваленко, А.С. Двужилов

© Коваленко В.А., Двужилов А.С., 2025

**Аннотация.** Рассмотрены теоретические и практические аспекты определения ударной вязкости материалов в рамках дисциплины «Сопротивление материалов». Проанализированы методики испытаний; факторы, влияющие на показатели ударной вязкости; их значение для проектирования строительных конструкций. Приведен пример расчета вышеназванной вязкости. Указаны перспективные направления исследований в данной области.

**Ключевые слова:** ударная вязкость, сопротивление материалов, динамические нагрузки, испытания, удар, строительные конструкции, механические свойства, хрупкое разрушение, температурная зависимость.

Ударная вязкость (ударная прочность) является одной из важнейших характеристик механических свойств материалов, определяющей их способность сопротивляться динамическим нагрузкам и поглощать энергию при ударном воздействии. Эта характеристика приобретает особое значение при проектировании строительных конструкций, которые могут подвергаться различного рода ударным воздействиям: ветровым порывам, сейсмической активности и др. [1].

Актуальность исследования ударной вязкости материалов обусловлена необходимостью обеспечения надежности и долговечности строительных конструкций в экстремальных условиях эксплуатации. Особенно это важно для регионов с суровыми климатическими условиями, где перепады температур могут существенно влиять на механические свойства материалов [2].

Ударная вязкость – это работа, затрачиваемая на разрушение образца при ударном нагружении, отнесенная к единице площади его поперечного сечения в месте концентратора напряжений (надреза). Физически она характеризует способность материала поглощать энергию при динамическом нагружении [3].

Математически ударная вязкость  $KCV$  выражается формулой

$$KCV = A / F,$$

где  $A$  – работа разрушения образца, Дж;  $F$  – площадь поперечного сечения образца в месте надреза, м<sup>2</sup>.

Сегодня наиболее распространены два метода испытаний на ударную вязкость:

1. Шарпи (образец устанавливается как консольная балка с надрезом посередине. Удар наносится маятниковым копром со стороны, противоположной надрезу).

2. Изода (образец закрепляется как консоль, а удар наносится со стороны надреза).

Основные параметры испытаний:

- 1) масса маятника (обычно 20–30 кг);
- 2) высота падения (0–2 м);
- 3) скорость удара (3–7 м/с);
- 4) температура испытания (может варьироваться от –60 до +100 °C).

Одним из наиболее значимых факторов является температура испытания. Для многих конструкционных материалов (особенно сталей) характерен так называемый хладноломкий переход, т. е. резкое снижение ударной вязкости при падении температуры (таблица) [4].

Температурная зависимость ударной вязкости стали Ст3

Температура, °C	Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>
+20	180
0	150
–2	90
–40	40
–60	20

С увеличением скорости нагружения ударная вязкость большинства металлов снижается. Это связано с тем, что при высоких скоростях деформации материал не успевает реализовать пластические механизмы деформации.

Форма и размеры концентратора напряжений значительно влияют на результаты испытаний.

Наиболее распространены надрезы:

V-образный (угол 45°, глубина 2 мм);

U-образный (радиус 1 мм);

трещина (по методу fracture mechanics) [5].

Для строительных конструкций, работающих в условиях возможных динамических нагрузок, установлены минимальные требования к ударной вязкости:

1. Мостовые конструкции: не менее 300 кДж/м<sup>2</sup> при –40 °C.
2. Крановые пути: не менее 250 кДж/м<sup>2</sup> при –20 °C.
3. Каркасы высотных зданий: не менее 200 кДж/м<sup>2</sup> при 0 °C [6].

Рассмотрим стальную балку мостового пролета.

Исходные данные:

- 1) материал – сталь 09Г2С;
- 2) работа разрушения  $A = 75$  Дж;
- 3) площадь сечения  $F = 0,000\ 15$  м<sup>2</sup>;
- 4) температура эксплуатации –30 °C.

Расчет ударной вязкости:

$$KCV = 75 / 0,000\ 15 = 500 \text{ кДж/м}^2.$$

Полученное значение удовлетворяет нормативным требованиям, предъявляемым к мостовым конструкциям.

Современные подходы к оценке ударной вязкости включают:

- 1) компьютерное моделирование ударных процессов;
- 2) использование цифровой корреляции изображений (DIC);
- 3) акустическую эмиссию для анализа процесса разрушения;
- 4) микроскопические исследования зоны разрушения.

Таким образом, расчеты на ударную вязкость являются важнейшей частью проектирования строительных конструкций, работающих в условиях динамических нагрузок. Особое внимание следует уделять:

- 1) температурным условиям эксплуатации;
- 2) выбору материалов с достаточным запасом ударной вязкости;
- 3) учету возможных концентраторов напряжений;
- 4) проведению комплексных испытаний в условиях, приближенных к реальным [7].

Перспективными направлениями изучения выступают разработка новых методов неразрушающего контроля ударной вязкости и создание материалов с улучшенными динамическими характеристиками.

### **Библиографический список**

1. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 1976. 608 с.
2. Феодосьев В.И. Избранные задачи и вопросы по сопротивлению материалов. 5-е изд., испр. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 1996. 368 с.
3. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: ФИЗМАТЛИТ, 1988. 712 с.

4. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории упругости и пластичности. М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной и судостроительной литературы, 1957. 336 с.
5. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов. Изд. 4-е, перераб. М.: Высшая школа, 1975. 656 с.
6. Горшков А.Г., Трошин В.Н., Шалашилин В.И. Сопротивление материалов: учебное пособие. 2-е изд., испр. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 544 с.
7. Гуляев В.И., Мерданов Ш.М., Пирогов С.П. Динамика и прочность машин: учебное пособие. Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. 109 с.

## IMPACT STRENGTH CALCULATIONS AND THEIR APPLICATION IN CALCULATIONS OF BUILDING STRUCTURES

**V.A. Kovalenko, A.S. Dvuzhilov**

***Abstract.*** The theoretical and practical aspects of determining the impact strength of materials within the framework of the discipline "Resistance of materials" are considered. The test methods are analyzed; the factors affecting the impact strength; their importance for the design of building structures. An example of calculating the above-mentioned viscosity is given. Promising areas of research in this field are indicated.

***Keywords:*** impact strength, resistance of materials, dynamic loads, tests, impact, building structures, mechanical properties, brittle fracture, temperature dependence.

Об авторах:

КОВАЛЕНКО Варвара Александровна – студентка, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: varechka\_kovalenko@list.ru

ДВУЖИЛОВ Антон Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов, теории упругости и пластичности, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: anton\_in\_tver@mail.ru

About the authors:

KOVALENKO Varvara Alexandrovna – Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: varechka\_kovalenko@list.ru

DVUZHILOV Anton Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Resistance of Materials, Theory of Elasticity and Plasticity, Tver State Technical University, Tver. E-mail: anton\_in\_tver@mail.ru