

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 вышеуказанной 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^2 .

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 ²
+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/м² при –40 °С.
2. Крановые пути: не менее 250 кДж/м² при –20 °С.
3. Каркасы высотных зданий: не менее 200 кДж/м² при 0 °С [6].

Рассмотрим стальную балку мостового пролета.

Исходные данные:

- 1) материал – сталь 09Г2С;
- 2) работа разрушения $A = 75$ Дж;
- 3) площадь сечения $F = 0,000\ 15$ м²;
- 4) температура эксплуатации –30 °С.

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