



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Сопротивление материалов»

Сборник задач
по дисциплинам
«Сопротивление материалов» и
«Техническая механика»

**«Определение ударной
вязкости стального
образца»**

Авторы
Краснобаев И.А.,
Маяцкая И.А.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Методические указания предназначены для проведения лабораторной работы по дисциплинам «Сопротивление материалов» и «Техническая механика» для обучающихся по техническим направлениям подготовки (специальностям).

Настоящие методические указания ставят своей задачей ознакомление студентов, изучающих общий курс сопротивления материалов, с вопросами экспериментального определения ударной вязкости материалов.

Авторы

к.т.н., профессор кафедры «СМ» Краснобаев И.А.,
к.т.н., доцент кафедры «СМ» Маяцкая И.А.



Оглавление

Определение ударной вязкости стального образца.....	4
1. Цель работы.....	4
2. Описание испытательного оборудования.....	4
3. Испытываемые образцы.....	8
4. Описание эксперимента.....	10
5. Основные теоретические положения.....	15
6. Порядок проведения испытаний.....	17
7. Контрольные вопросы.....	18
8. Основные правила техники безопасности.....	19
Приложение 1.....	21

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ СТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА

1. Цель работы

Изучить методику экспериментального определения ударной вязкости материала, приобрести практические навыки по проведению испытаний и расчету параметров ударной вязкости.

2. Описание испытательного оборудования

Для испытания используют маятниковый копер, конструкция которого обеспечивает ударное воздействие и измерение энергии удара, затраченной на деформирование и разрушение образца. Схема копра показана на рис. 1 и 2. Энергия определяется как разность между первоначальным запасом потенциальной энергии маятника и энергией, оставшейся у маятника после разрушения образца.

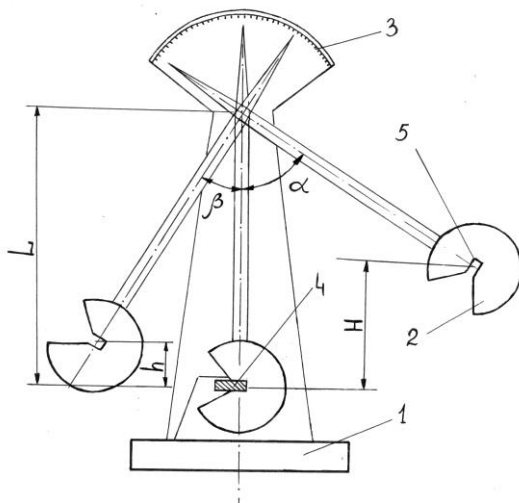


Рис. 1. Схема маятникового копра для испытаний на ударную вязкость

На этом рисунке

1 – корпус копра; 2 – маятник; 3 – шкала; 4 – образец в момент удара; 5 – боек маятника.

Определение ударной вязкости стального образца

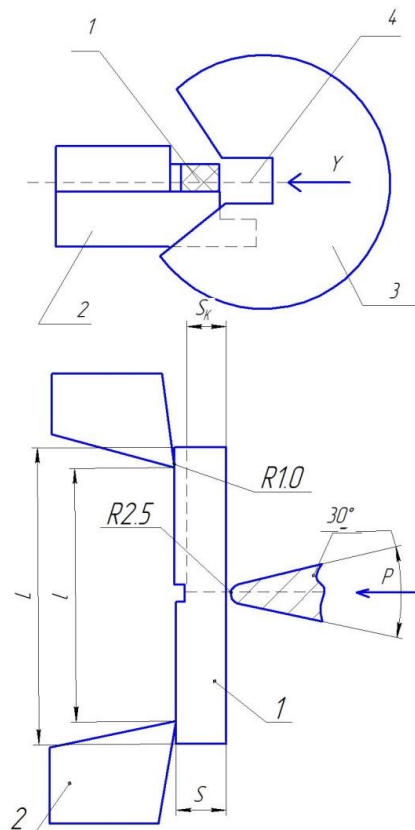


Рис. 2. Схема ударного воздействия

На этом рисунке

- 1 – испытуемый образец; 2 – опора; 3 – маятник; Y – направление удара; 4 – боек маятника.

Испытания проводят следующим образом: после установки образца в рабочее положение (поз.4 рис.1) маятник отклоняют на заданный угол α и фиксируют в этом положении. После запуска маятника он свободно движется по круговой траектории под собственным весом со скоростью наносит удар по образцу, деформирует и разрушает его. При этом маятник продолжает движение, отклоняясь относительно вертикальной оси копра на некоторый угол β . Этот угол тем меньше, чем больше работа A затрачена маятником на деформирование и разрушение образца. Величина работы A зависит от разности потенциальных энергий

Определение ударной вязкости стального образца

маятника в начальный (после подъёма на угол α) и конечный (после подъёма на угол β) моменты испытаний:

$$A = P(H - h), \quad (1)$$

где P – масса маятника;

H и h – соответственно высота подъёма маятника на угол α и β (рис 1).

Если длина маятника L , то $h = L(1 - \cos \beta)$; $H = L(1 - \cos \alpha)$, получаем $A = PL(\cos \beta - \cos \alpha)$. Эта формула служит для расчёта работы A по значениям углов α и β (α , P и L постоянны для каждого копра). Поэтому шкала копра проградуирована в единицах работы A в соответствии с известными параметрами. При этом шкал может быть несколько, так как для различных материалов параметры P и α могут быть различными.

Существуют различные маятниковые копры, но их устройства очень похожи (рис. 3, 4).

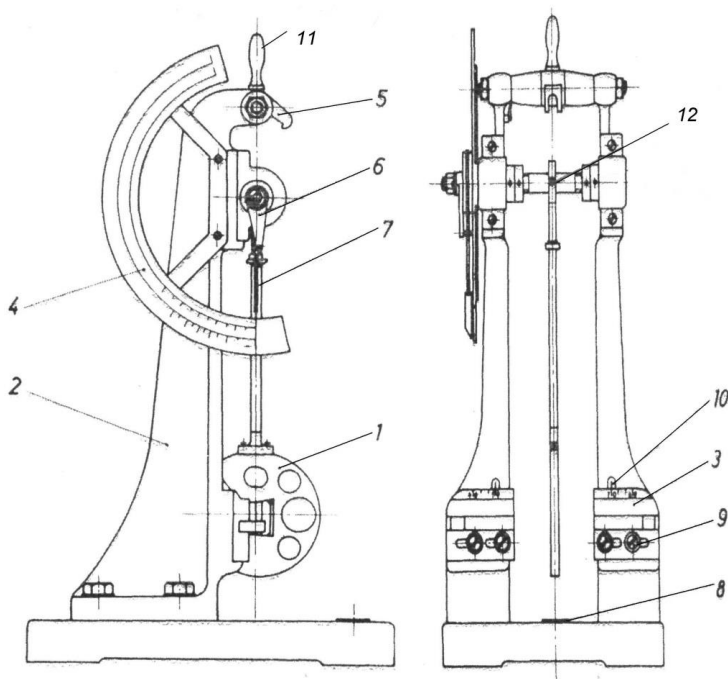


Рис. 3. Устройство маятникового копра XP-05

Определение ударной вязкости стального образца

На этом рисунке

1 – маятник; 2 – корпус копра; 3 – опора образца; 4 – измерительный лимб со шкалой; 5 – фиксатор; 6 – кронштейн перемещения стрелки синхронно с перемещением маятника; 7 – фрикционная стрелка; 8 – круглый уровень установки копра на плоскости; 9 – крепежный винт, фиксирующий положение опоры образца; 10 – шкала для регулировки расстояния между опорами; 11 – рукоятка управления фиксатором; 12 – винт фиксации положения маятника на оси

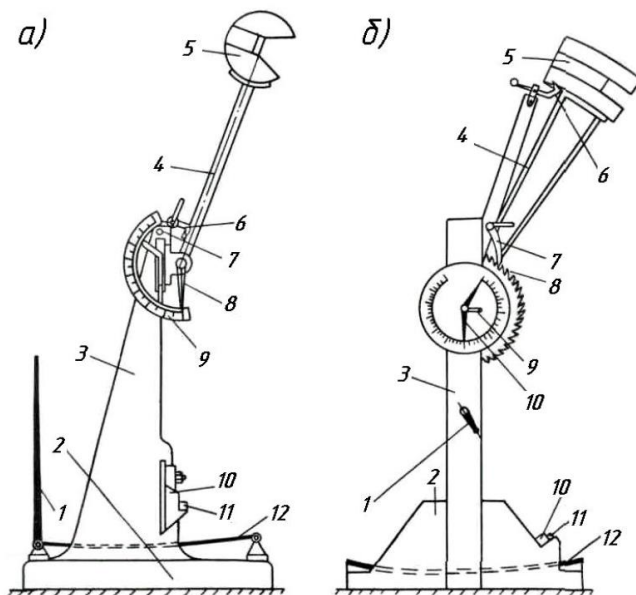


Рис. 4. Устройство маятниковых копров МК

На этом рисунке

а – маятниковый копер МК-15; б – маятниковый копер МК-30.

В копре ХР-05 при обратном движении маятника стрелка за счет фрикционного устройства остается на месте, фиксируя на шкале лимба значение работы A .

Копер МК состоит из чугунной станины в виде массивной плиты 2 с двумя вертикальными колоннами 3. В верхней части колонн на горизонтальной оси подвешен укрепленный в шарикоподшипниках маятник с грузом в виде плоского диска с вырезом 5, в котором закреплен стальной закаленный нож, служащий бой-

ком при испытании (рис. 5).

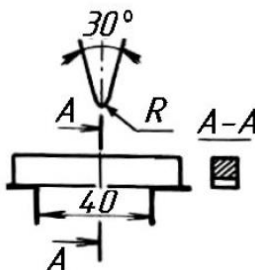


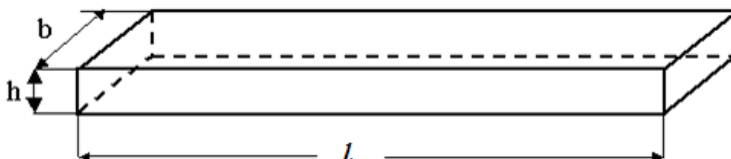
Рис. 5. Опоры и нож маятникового копра МК

Внизу на уровне вертикально висящего маятника к колоннам станины прикреплены две стальные закаленные опоры 10, на которые помещают испытываемый образец 11. Под опорами между колоннами проходит тормозной ремень 12, который прижимаясь к маятнику, качающемуся после удара, вызывает его торможение. Тормозной ремень приводится в действие электромотором или вручную специальной рукояткой 1.

Перед испытанием маятник поднимают на исходную высоту и удерживают его в этом положении защелкой 6. Затем он освобождается от защелки 6, падая, ударяет образец, разрушает его и взлетает на некоторый угол, которым и определяется работа, затраченная на разрушение образца. При прямом и обратном движении маятника поводок увлекает за собой соответственно стрелку шкалы 10 и оставляет ее в положении, фиксирующем работу маятника до и после удара.

3. Испытываемые образцы

Испытываемые образцы балок, изготовленные из различных материалов, длиной l , прямоугольного поперечного сечения шириной b и высотой h с надрезом и без надреза (рис. 6), устанавливаются на двух опорах маятникового копра.



Определение ударной вязкости стального образца

Рис. 6. Эскиз испытываемого образца без надреза

При больших скоростях нагружения, например, при ударе, увеличивается опасность хрупкого разрушения. Эта опасность возрастает при наличии в конструкции отверстий, трещин, канавок и других концентраторов напряжений. Поэтому используют образцы с надрезом (рис. 7). Надрез позволяет сосредоточить всю деформацию разрушения в одном месте, а также значительно ослабляет сечение и вызывает повышение напряжений.

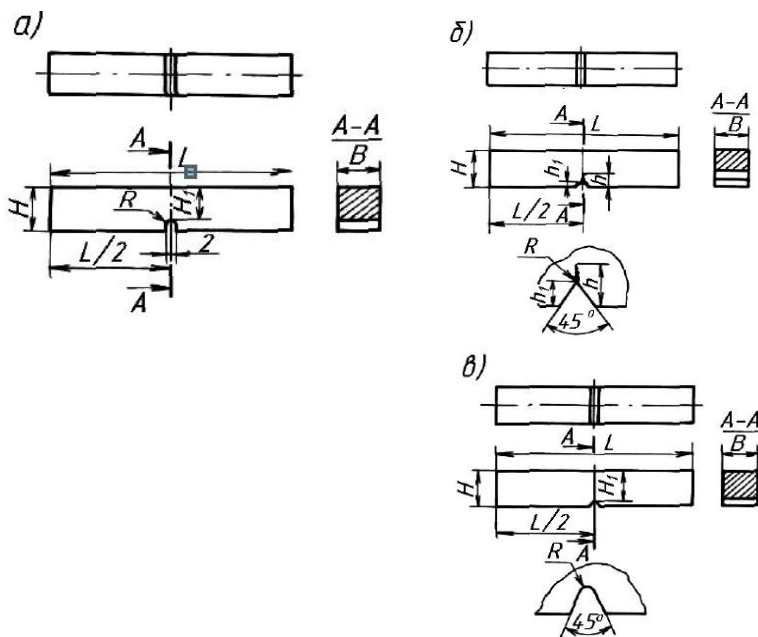


Рис. 7. Эскизы испытываемого образца с различными надрезами

На этом рисунке

- a* – надрез типа U; *б* – надрез типа Т (усталостная трещина);
- в* – надрез типа V.

На рис. 8 представлен образец для испытаний на маятниковом копре МК-30.

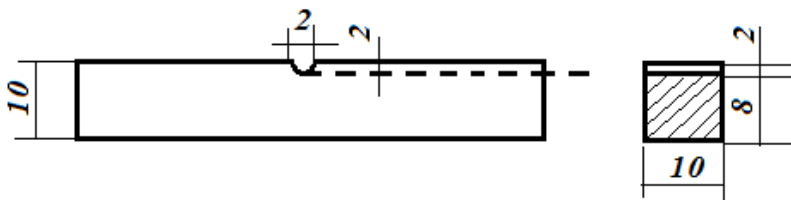


Рис. 8. Образец с надрезом

Образцы устанавливают на двух опорах и подвергают воздействию ударной нагрузки падающего маятника. Разрушение происходит в плоскости надреза, и поэтому форма надреза и его размеры влияют на склонность материала к хрупкому разрушению.

4. Описание эксперимента

Испытания на ударную вязкость проводят на маятниковом копре МК (рис. 9).



Рис. 9. Маятниковый копер МК для проведения испытаний на ударную вязкость

Определение ударной вязкости стального образца

Образец устанавливается на двух опорах маятникового копра так, чтобы удар молота маятника проходил по сечению образца с противоположной стороны надреза, который расположен посередине пролета между опорами.

Маятниковый копер имеет следующее устройство: к станине, установленной на фундаменте, жестко присоединены две стойки, поддерживающие ось. К этой оси при помощи жесткой системы растяжек подвешен тяжелый маятник.

На этой же оси подвешена рама, которую можно устанавливать на высоте с помощью собачки храпового колеса, смонтированного у колонн, и производить испытания при различных запасах энергии маятника.

Молот маятника имеет паз, в который вставлен закаленный нож. Перед началом испытания маятник взводится и с помощью защелки закрепляется на подъемной раме, которая может устанавливаться на различной высоте и удерживаться в этом положении собачкой, упирающейся в храповик.

Для предотвращения самопроизвольного спуска маятника на подъемной раме маятника устроено предохранительное приспособление в виде поворотного запора, которое запирает защелку маятника.

На копре имеется специальное приспособление, которое измеряет работу, затраченную на разрушение образца. Это приспособление состоит из двух горизонтальных линеек шкалы и указателя.

При подъеме маятника в исходное положение палец, укрепленный на маятнике, поднимает одну линейку, а вместе с ней и шкалу на величину, пропорциональную высоте подъема центра тяжести маятника.

При своем падении маятник разрушает образец ножом, укрепленным внутри молота, и, продолжая движение по инерции, поднимает тем же пальцем вторую линейку, а вместе с ней – указатель на величину, пропорциональную оставшейся энергии после разрушения образца. Указатель на шкале отмечает величину работы, затраченной на разрушение образца. Шкала градуирована в кг·м.

При тарировке копра определяется запас энергии, которым обладает маятник, в горизонтальном положении. Этот запас энергии маятника при горизонтальном положении геометрической его оси равен произведению веса маятника на расстояние от его центра тяжести до оси качания. Зная вес маятника, легко определить характерное для маятника расстояние от центра тяжести до оси

Определение ударной вязкости стального образца

качания (700 мм).

Для спуска маятника из рабочего положения надо, предварительно освободив защелку от поворотного запора, потянуть на себя ручку со шнуром, при этом зуб защелки соскочит с выступа подъемной рамки и освободит маятник.

Для того, чтобы маятник после разрушения образца не качался, на копре имеется веревочный тормоз. Основной частью тормоза является веревка, которая в полтора раза обхватывает неподвижный блок, расположенный наверху станины. Один конец веревки прикреплен к крючку на молоте маятника, а на другом конце подвешен груз. При свободном падении маятника, благодаря трению веревки о блок, опускание груза происходит медленно, веревка не натягивается и не оказывает никакого влияния на работу маятника.

Когда маятник, после взлета, начинает снова опускаться в вертикальное положение, груз, натягивает шнур и маятник останавливается. После этого маятник можно опустить, поднимая груз рукой.

Перед испытанием рекомендуется проверить работу тормоза.

При проведении испытаний оба конца образца опираются на две закаленные опоры, укрепляемые на станине копра. Расстояние между опорами может изменяться от 40 мм до 100 мм и устанавливается в зависимости от размеров образца и условий испытаний. При установке опор надо следить за тем, чтобы они были расположены симметрично относительно ножа маятника.

Установив опоры, их надо прижать клиньями к опорной поверхности станины и закрепить болтами и гайками. Потом проверить расстояние между ними с помощью штангенциркуля.

Для установки образца по высоте применяются два угольника, которые можно перемещать относительно опор и закреплять в любом положении гайками с накаткой. На угольниках имеется шкала, по которой производится их установка. На шкале непосредственно указывается высота, на которую нужно поднять угольник для данного образца. Имея образец с сечением в 10x10 мм, надо поднять угольник так, чтобы горизонтальная риска на торце направляющего штифта совпала с цифрой 10 на угольнике.

Отсчетный механизм (рис. 10) состоит из двух горизонтальных планок, изготовленных из листового материала, из которых правая (если посмотреть на копер со стороны шкалы) соединена со шкалой прибора, а левая с указателем. В спокойном состоянии

Определение ударной вязкости стального образца

маятника обе планки лежат в одной горизонтальной плоскости, ролик, укрепленный на подвеске маятника, находится между ними. Когда маятник взводится в начальное положение, то ролик поднимает правую планку, а вместе с ней и шкалу. Так как положение ролика постоянно относительно центра тяжести маятника, подъем шкалы будет пропорционален высоте подъема центра тяжести маятника. При освобождении маятника шкала благодаря наличию контргруза остается в поднятом положении. После того, как маятник при спуске со своего начального положения перейдет в вертикальное положение, ролик начнет поднимать левую планку и вместе с ней указатель на высоту, пропорциональную подъему маятника после разрушения образца.

Благодаря наличию трения, вызванного пружинящим язычком в трубке указателя, последний задержится в верхнем положении и отметит на шкале величину, пропорциональную разности высот центра тяжести до и после удара.

Работа, затраченная на разрушение образца равна произведению веса маятника на разность высот его центра тяжести до и после удара. Поэтому при соответствующей градуировке шкалы на ней показана работа, затраченная на разрушение образца.

Для того, чтобы отсчетный механизм хорошо работал, необходимо, чтобы рамка отсчетного механизма, на которой закреплена планка и шкала, а также планка, закрепленная на трубке, поднимающей указатель, двигались по своим направляющим с минимальным трением и в тоже время, чтобы шкала удерживалась в поднятом положении. Если же трение, удерживающее указатель оказывается недостаточным, то можно снять указатель и слегка подогнуть имеющийся на нем язычок.

Определение ударной вязкости стального образца

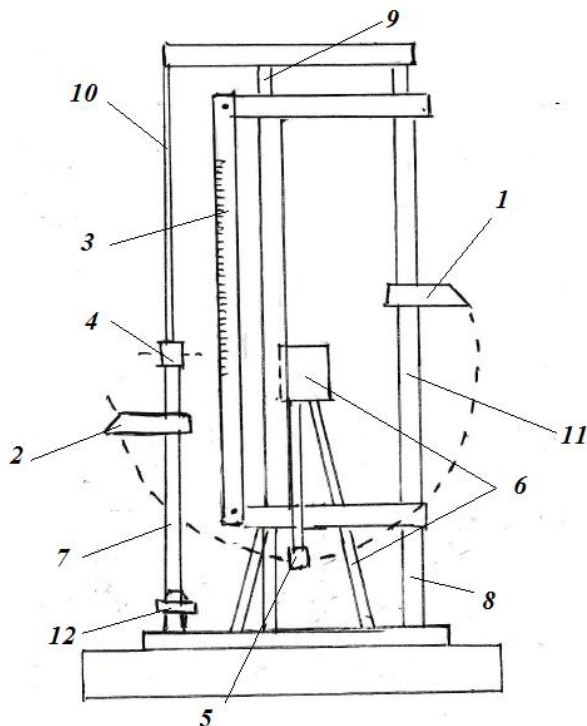


Рис. 10. Схема маятникового копра МК для проведения испытаний
На этом рисунке

1 – планка, жестко связанная со шкалой 3 и поднимающая шкалу при взводе маятника; 2 – планка, посредством которой поднимается указатель 4 при взлете маятника после разрушения образца; 3 – шкала; 4 – указатель затраченной энергии; 5 – подъемный ролик, качающийся вместе с маятником; 6 – подвеска маятника, состоящая из вала, стренг и планки; 7 – трубка; 8, 9 – направляющие рамки отсчетного механизма; 10 – направляющая для трубки 7 и для указателя 4; 11 – трубка рамки; 12 – винт регулировочный

Для правильной работы отсчетного механизма необходимо, чтобы нижние торцы обеих планок находились в одной горизонтальной плоскости, касательной поверхности ролика при вертикальном положении маятника. Высота планок может регулироваться. С этой целью планка, поднимающая рамку отсчетного ме-

Определение ударной вязкости стального образца

ханизма, может переставляться вдоль трубки, а высота планки, поднимающей указатель, регулируется вращением регулировочного винта, расположенного под трубкой.

Перед пуском маятника необходимо проверить плотность прилегания первой линейки к пальцу маятника. Затем открыть предохранитель защелки и проверить, нет ли люфтов на всем радиусе вращения маятника. После этого защелка освобождается специальным тросиком, и маятник, падая, разрушает образец.

5. Основные теоретические положения

Экспериментальные исследования показывают, что механические свойства материала при статическом и динамическом воздействиях нагрузок оказываются неодинаковыми.

Предел прочности материала при динамическом воздействии нагрузки понижается. Существуют материалы, которые обладают хорошими пластическими качествами при статической нагрузке, но при динамическом воздействии становятся хрупкими.

Испытания на ударную вязкость относятся к динамическим видам испытаний, которые применяют, чтобы оценить способность материалов противодействовать ударным нагрузкам и выявить их склонность к хрупкому разрушению. Ударная вязкость определяется работой, затрачиваемой на деформирование и разрушение образца при ударе.

Ударную вязкость измеряют при ударном изгибе с последующим разрушением образца в виде балки прямоугольного поперечного сечения, которая либо свободно лежит на двух опорах (испытание по Шарпи), либо консольно закреплена (испытания по Изоду). Существует также метод проведения испытания на приборе типа Динстат с использованием консольных образцов малого размера.

Величина ударной вязкости зависит как от прочностных, так и от деформационных свойств материала, а также от того, насколько материал хрупок или эластичен. Замечено, что полимерные материалы, лишённые хрупкости при статическом воздействии, хрупки в динамических условиях, т. е. при большой скорости деформирования. При этом повышаются их твёрдость и модуль упругости. Такая закономерность объясняется релаксационным характером деформирования полимерных материалов.

Ударная вязкость является оценочной характеристикой материала и непосредственно не может быть использована в инженерных расчётах, как используются характеристики прочности, полученные при статических испытаниях. Величина ударной вяз-

Определение ударной вязкости стального образца

кости важна при выборе материалов для деталей, которые в процессе эксплуатации подвержены воздействию динамических нагрузок, сопровождающихся ударами.

Как правило, испытание на ударную вязкость проводят при комнатной температуре. Следует отметить, что на параметры эксперимента влияют форма образца, скорость удара и температура. Понижение температуры вызывает резкое уменьшение ударной вязкости, что приводит к хрупкому разрушению конструкции. Образцы из полимерных материалов кондиционируют в стандартной атмосфере не менее 16 часов с помощью термостата.

Основой метода определения ударной вязкости по Шарпи является испытание, при котором призматический образец, лежащий на двух опорах, разрушается посредством удара маятника испытательной установки (копра), причем удар направлен в середину между опорами в плоскости симметрии образца. Если испытывают образец с надрезом, то ударной нагрузкой воздействуют с обратной стороны образца непосредственно против надреза.

Ударную вязкость a определяют по формуле:

$$a = \frac{A}{F}, \quad (2)$$

где A – работа деформирования и разрушения под действием ударной нагрузки,

F – площадь поперечного сечения образца в месте разрушения. Размерность ударной вязкости кДж/м² в системе СИ.

Ударная вязкость по Шарпи образца без надреза a_n , кДж/м² – это энергия, затраченная на разрушение образца без надреза при ударе.

Ударная вязкость по Шарпи образца с надрезом a_k , кДж/м² – это энергия, затраченная на разрушение образца с надрезом при ударе.

Относительная ударная вязкость по Шарпи (коэффициент ослабления) K_z , % – это отношение энергии, затраченной на разрушение образца без надреза к энергии, затраченной на разрушение образца с надрезом при ударе.

Основой метода определения ударной вязкости по Изоду является деформирование и разрушение консольно закреплённого образца с надрезом посредством удара маятника перпендикулярно продольной оси образца на определённом расстоянии от места закрепления.

Определение ударной вязкости стального образца

Образец разрушается под действием маятника при его падении под собственным весом в процессе вращения вокруг горизонтальной оси. Образец закрепляют так, чтобы верхняя плоскость зажима была ориентирована по оси надреза. При этом надрез может быть обращен как в сторону маятника, так и в противоположную от него. Ударную вязкость a определяют по формуле (1).

«Перевёрнутый образец» – это образец, установленный так, чтобы надрез располагался на стороне, противоположной маятнику.

Ударная вязкость по Изоду a_k , кДж/м² – это энергия, поглощённая образцом с надрезом при деформировании и разрушении, и отнесённая к площади исходного поперечного сечения в месте надреза.

Ударная вязкость по Изоду «перевёрнутого образца» a , кДж/м² – это энергия, поглощённая перевёрнутым образцом с надрезом, отнесённая к площади его исходного поперечного сечения в месте надреза.

6. Порядок проведения испытаний

«Определение ударной вязкости стального образца»

Исходные данные:

Для образца с надрезом, который показан на рис. 8, опытным путем определяем его размеры с помощью штангенциркуля. Определяется площадь поперечного сечения F . Записывается материал образца.

Методика проведения эксперимента:

Методика проведения эксперимента описана в параграфе 4. Записывается название маятникового копра.

По шкале определяем работу, затраченную на разрушение образца A .

Определяем величину ударной вязкости по формуле:

$$a = \frac{A}{S_k}.$$

Определяем погрешность для определяемой величины.

Если проводится серия экспериментов, то проводится статистическая обработка результатов.

Геометрические параметры образцов (с точностью до 0,02 мм)

Определение ударной вязкости стального образца

Таблица 1

№ образца	Результаты измерений		
	b , мм	S , мм	S_k , мм
1			
2			

Характеристики ударной вязкости испытуемых образцов

Таблица 2

№ образца	Значения ударной вязкости для образцов с надрезом a_k , кДж/м ²
1	
...	

Средние арифметические значения параметров испытаний

Таблица 3

Параметры ударной вязкости образцов с надрезом \bar{a}_k , кДж/м ²	Относительная ударная вязкость \bar{K}_z , %

Значения стандартных отклонений S_a и относительной ошибки ξ_a

Таблица 4

Параметры ударной вязкости образцов с надрезом		
S_{a_k} , кДж/м ²	Δa_k , кДж/м ²	ξ_{a_k} , %

7. Контрольные вопросы

1. Какова цель лабораторной работы?
2. В чём заключается сущность метода испытаний по Шарпи?

Определение ударной вязкости стального образца

3. В чём заключается сущность метода испытаний по Изоду?
4. Какие свойства материала характеризуют большие и малые значения ударной вязкости?
5. Как используется величина ударной вязкости?
6. Чем вызвано отличие свойств материалов при статических и динамических испытаниях?
7. Для чего делают надрез на образце при определении ударной вязкости?
8. Какие факторы влияют на величину ударной вязкости?
9. Из каких частей состоит маятниковый копер?
10. Каковы правила установки образца на опоры копра?
11. Какова последовательность статистической обработки результатов испытания?
12. По каким формулам определяются параметры испытания?
13. Как найти среднее арифметическое результатов измерения?
14. Как найти величину стандартного отклонения результатов измерения?
15. Как определить границы доверительного интервала результатов измерения?
16. Как найти относительную ошибку результатов измерения?
17. Какими параметрами оценивается ударная вязкость?
18. По каким формулам рассчитывается ударная вязкость?
19. В каких единицах измеряется ударная вязкость?
20. Какие типы образцов применяются для оценки ударной вязкости?
21. Какова форма надрезов на образцах?

8. Основные правила техники безопасности

1. Нельзя допускать к испытательной установке лиц, не ознакомившихся с ее устройством.
2. Запрещается устанавливать образец и приводить в действие испытательную установку без разрешения преподавателя.
3. Лабораторную работу нужно выполнять в соответствии с выше приведенной инструкцией.
4. Проверить, нет ли людей на всем радиусе вращения маятника.
5. При перерывах в работе испытательная установка не

Определение ударной вязкости стального образца

должна находиться в рабочем состоянии.

6. Во время проведения лабораторной работы запрещается трогать образец руками.

7. Необходимо находиться от испытательной установки на расстоянии не менее 0,5м.

8. Запрещается подходить к лабораторным установкам, не связанным с выполнением данной работы.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

/Образец/

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № _____

«Определение ударной вязкости стального образца»

Дата проведения работы _____

1. Наименование машины - маятниковый копер МК-30.
Общий вид:



Опоры:

Определение ударной вязкости стального образца



2. Фото испытываемых образцов до разрушения:



3. Фото испытываемых образцов после разрушения:



Журнал испытаний

«Определение ударной вязкости стального образца»

1. Характеристика испытываемых образцов:
 - материал испытываемых образцов – сталь;
 - фактические размеры поперечного сечения образца с надрезом:

Определение ударной вязкости стального образца

2. Обработка данных испытаний:

Вычисляем по соответствующей формуле ударную вязкость

$$a^{\text{опыт}} = \frac{A}{F} =$$

Находим значение ударной вязкости для данного материала по справочной литературе (теоретическое значение).

Определяем погрешность между опытным и теоретическим значениями ударной вязкости

$$\varepsilon = \left| \frac{a^{\text{опыт}} - a^{\text{теор}}}{a^{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% =$$

ВЫПОЛНИЛ

Студент группы _____

(Фамилия И.О.)

ПРОВЕРИЛ

Преподаватель _____

(Фамилия И.О.)