

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.

Теоретическая часть:

При обработке, а также при эксплуатации полимерных и композиционных материалов и изделий могут иметь место процессы пластической деформации, протекающие с различной скоростью. Одни детали машин могут деформироваться в течение ряда лет, другие – за малые доли секунды. При различных условиях эксплуатации изделий скорость деформации может меняться в широчайшем диапазоне. Соответственно, механические свойства материалов могут очень сильно меняться: материал может быть прочным при статических нагрузках, но раскалываться при ударных. Этот факт определяет необходимость проведения динамических испытаний, являющихся ценным, а иногда необходимым дополнением к статическим испытаниям гладких образцов.

Ударные испытания выявляют такие различия между материалами, которые не отражаются при обычных (статических) испытаниях гладких образцов. Например, значения предела прочности для мелкозернистого железа ($36,5 \text{ кгс/мм}^2$) и крупнозернистого железа ($34,5 \text{ кгс/мм}^2$) мало отличаются, тогда как в значениях ударной вязкости имеется существенное различие: $13,1 \text{ кгс м/см}^2$ и $2,6 \text{ кгс м/см}^2$ соответственно. Для полимерных материалов это различие имеет еще больший разброс.

Пластичность неоднозначно зависит от скорости деформации. В большинстве случаев при ударных испытаниях образцов характеристики пластичности оказываются ниже, чем при аналогичных статических испытаниях.

Характер изменения пластичности и вязкости (работы деформации) с увеличением скорости деформации зависит от типа разрушения – срез или отрыв. Если при заданной схеме нагружения и температуре материал разрушается путем отрыва, то сопротивление разрушению мало меняется при переходе от статической к динамической деформации. В этом случае пластичность с увеличением скорости уменьшается. Если же разрушение происходит путем среза, то сопротивление разрушению существенно возрастает с ускорением деформации, а пластичность может не меняться или тоже повышаться.

Динамические испытания на ударную вязкость проводят как при комнатной температуре, так и при повышенных и пониженных температурах. Для обеспечения соответствующего температурного

режима используют термостаты, в которые помещают образцы и доводят их до нужной температуры с непрерывным контролем. Для обеспечения требуемой температуры испытания образцы перед установкой на копёр должны быть переохлаждены или перегреты исходя из того, что они могут быть испытаны не позднее чем через 5–7 с после извлечения из термостата.

Свойство материала терять вязкость, хрупко разрушаться при понижении температуры называется хладноломкостью. Хладноломкость материалов оценивается порогом хладноломкости. Порог хладноломкости – это температура, при которой происходит переход от вязкого разрушения к хрупкому разрушению, сопровождающийся резким снижением ударной вязкости.

Нижний (t_n) и верхний (t_v) пределы порога хладноломкости определяют в серии ударных испытаний при разных температурах (рис. 1).

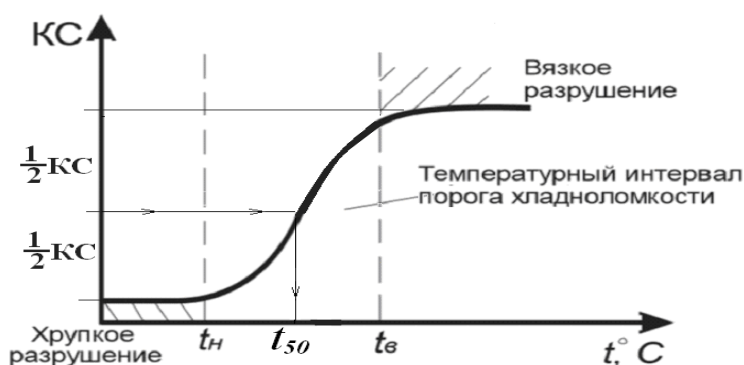


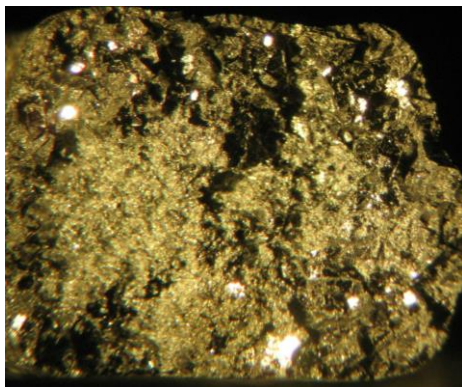
Рис. 1. Зависимость ударной вязкости от температуры и определение порога хладноломкости

Порог хладноломкости характеризуется одним числом (значением температуры полухрупкости), указывающим середину порога t_{50} (т. е. температуру, при которой ударная вязкость КС снижается на 50 %).

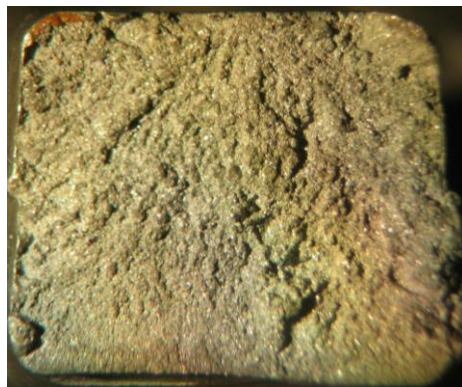
Тип разрушения определяет вид излома металла: хрупкому разрушению соответствует хрупкий излом с блестящим, кристаллическим строением (рис. 2, а), вязкому разрушению – вязкий излом, имеющий матовое волокнистое строение (рис. 2, б).

При переходе из вязкого состояния в хрупкое меняется вид излома металла: доля волокнистой составляющей в изломе

уменьшается, а кристаллической – увеличивается. При температуре t_{50} приблизительно половина излома имеет волокнистое строение.



а)



б)

Рис. 2. Виды изломов стали: а – хрупкий; б – вязкий

Очевидно, чем выше пластические свойства материала и чем ниже температура перехода в хрупкое состояние, тем более надёжен этот материал.

Ударная вязкость в значительной мере отражает состояние поверхности образца, так как распределение деформации в образце неравномерно и часто бывает сосредоточено в основном в поверхностных слоях. Наличие твёрдых поверхностных слоёв понижает ударную вязкость, а мягкие поверхностные слои повышают её. Например, если надрезы на стальном образце, предназначенном для испытания на ударную вязкость, сделаны до термической обработки, то даже небольшое обезуглероживание поверхности, приводящее к образованию мягкого и пластичного феррита, может повысить ударную вязкость вдвое. Поэтому при ударных испытаниях предписывается изготовлять надрез на образцах. При определении ударной вязкости имеет значение и структура излома испытываемых образцов. В изломе не допускаются газовые поры, расслоения и другие дефекты.

Применять ударные испытания для чугунов, литых алюминиевых и магниевых сплавов нецелесообразно, так как сопротивление отрыву этих материалов минимально даже при статических нагрузках.

Таким образом, испытания на ударную вязкость являются одним из наиболее чувствительных методов контроля, чутко реагирующих на небольшие изменения состояния материала.

Цель работы: изучить метод определения ударной вязкости, измерить ударную вязкость образцов из различных полимеров и композиционных материалов.

Экспериментальная часть:

Объекты и оборудование: Образцы из различных полимеров и композиционных материалов.

Образцы. Основная форма образца – стержень квадратного сечения 10×10 мм и длиной 55 - 100 мм. Надрез наносится по середине длины образца, преимущественно протяжкой. ГОСТ 9454-78 предусматривает образцы с концентраторами напряжений трёх видов: *U*-образным ($r = 1$ мм), *V*-образным ($r = 0,25$ мм) и *T*-образным (усталостная трещина). Трещину у вершины надреза получают при плоском циклическом изгибе образца. Число циклов, необходимое для получения трещины заданной глубины, должно быть не менее 3000. Форма и размеры образцов для испытания соответствуют рис. 3.

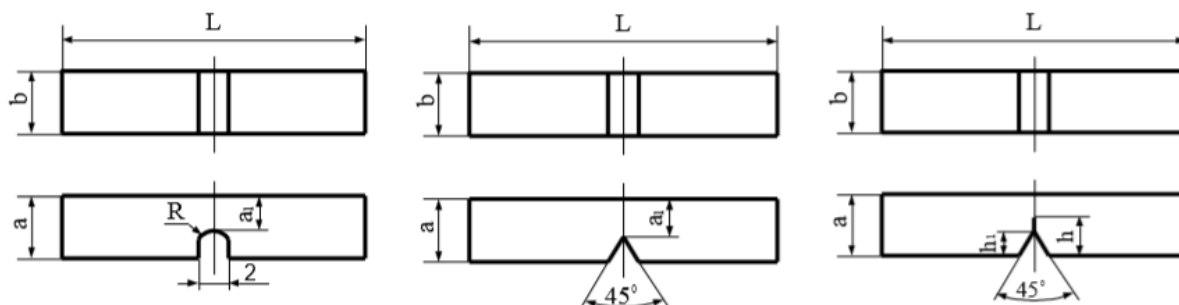


Рис. 3. Форма и размеры образцов для испытания

В настоящее время испытания на ударную вязкость проводят при температуре 20°C на маятниковых копрах (рис. 4), на образцах с концентраторами различной формы. Характеристики копра МК-30А представлены в табл. 1. Число «30» в маркировке копра показывает максимальную работу удара в кг·м, которую может совершать маятник при проведении испытаний.

Оборудование. Штангенциркуль, измерительная линейка, маятниковый копёр.

Таблица 1

Основные технические данные маятникового копра МК-30А

Характеристика	Значение
Тип копра	маятниковый
Вид испытаний	двухопорный ударный изгиб
Подъём маятника	вручную
Расстояние между опорами	от 40 до 100 мм
Радиус закругления ножа	$3 \pm 0,5$ мм

поперечном сечении	
Радиус окружности передней кромки ножа	67 мм
Угол заострения ножа молота	$40 \pm 1^\circ$
Число ступеней запаса энергии	16
Наибольший запас потенциальной энергии маятника	30 кг·м (~300 Дж)
Цена деления шкалы маятника	0,2 кг·м
Предел допустимой абсолютной погрешности измерения	$\pm 0,1$ кг·м
Скорость движения маятника в момент удара	$5 \pm 0,5$ м/с

Копёр состоит из чугунной станины в виде массивной плиты с двумя вертикальными колоннами. При испытании образец 4 устанавливается горизонтально на опоры 5 копра так, чтобы концентратор располагался симметрично относительно опор (рис. 5). Образец разрушается ударом ножа 1, закреплённого на маятнике 2, который вращается вокруг оси O и соединён с ней штангой 3. Маятник свободно падает с высоты H , определяемой углом подъёма маятника α . Направление удара – поперёк образца, со стороны, противоположной надрезу. Удар падающего маятника должен приходиться по ослабленному месту (сечению), то есть в зоне надреза. Надрез является концентратором напряжения. Чем он острее, тем сильнее действует концентратор напряжения.

Маятник, поднятый на определённый угол, обладает запасом энергии. Запас энергии определяется как произведение веса маятника на высоту подъёма его центра тяжести. В конце свободного падения маятник, встретившись с образцом и затратив на его разрушение часть энергии, поднимается на угол $\beta < \alpha$. Работу, затраченную на разрушение образца, определяют как разность запасов энергии маятника до и после удара по формуле:

$$K = G \cdot (H - H_1), \text{ кгс} \cdot \text{м},$$

где G – вес маятника, кг;

H и H_1 – высота подъёма центра тяжести маятника относительно точки встречи с образцом соответственно до и после удара.

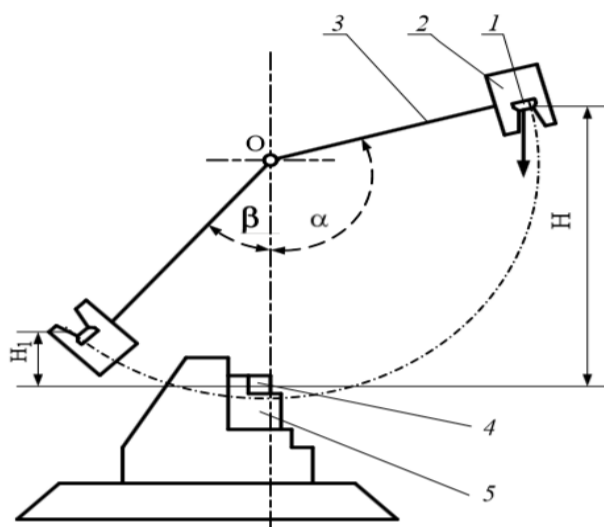


Рис. 4. Кинематическая схема маятникового копра:

1 – нож; 2 – маятник; 3 – штанга;
4 – образец; 5 – опоры

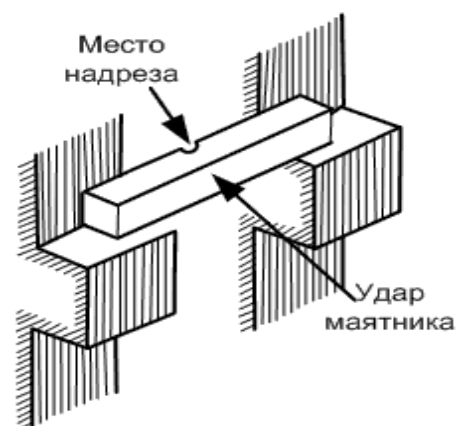


Рис. 5. Расположение образца на опорах копра

Измерительное устройство копра градуируют в единицах затраченной работы, что позволяет не вычислять работу разрушения по формуле, а отсчитывать её непосредственно по шкале измерительного устройства. Данные о затраченной работе позволяют определить ударную вязкость, под которой понимается работа удара, отнесённая к начальной площади поперечного сечения образца в месте концентратора.

Чем острее надрез, тем больше величина концентрации напряжений. Разные виды искусственных концентраторов позволяют комплексно оценить способность металлических сплавов сопротивляться разрушению, т. е. зарождению и развитию трещины.

Работу удара обозначают двумя буквами (KU , KV , KT) и цифрами. Первая буква (K) – символ работы удара, вторая буква (U , V , T) – вид концентратора. Последующие цифры обозначают максимальную энергию удара маятника, глубину концентратора и ширину образца.

Цифры не указывают при определении работы удара на копре с максимальной энергией маятника 294 Дж (300 кгс·м), при глубине концентратора 2 мм – для концентраторов U и V и 3 мм – для концентраторов вида T и ширине образца 10 мм. Ударную вязкость обозначают сочетанием букв и цифр: первые две буквы (KC) обозначают символ ударной вязкости, третья буква (U , V , T) – вид концентратора, первая цифра – максимальную энергию удара маятника, вторая – глубину концентратора, третья – ширину образца. Ударную вязкость KC вычисляют по формуле

$$KC = \frac{K}{S_0}, \text{ Дж/см}^2 \text{ (кгс}\cdot\text{м/см}^2\text{)},$$

где K – работа удара, затраченная на разрушение образца, Дж (кгс·м); S_0 – начальная площадь поперечного сечения образца в месте концентратора, м² (см²).

Пример обозначения ударной вязкости для стандартного образца с U -образным видом концентратора:

KCU – ударная вязкость, определённая на образце с концентратором вида U при комнатной температуре. Максимальная энергия удара маятника – 300 Дж, глубина концентратора 2 мм, ширина образца 10 мм.

Для обозначения работы удара и ударной вязкости при пониженной и повышенной температуре вводится дополнительный индекс, указывающий температуру испытания. Цифровой индекс ставят вверху, после буквенных составляющих. Примеры расшифровки обозначений:

KV^{-40} 50/2/2 – работа удара, определённая на образце с концентратором типа V при температуре -40 °С. Максимальная энергия удара маятника 50 Дж, глубина концентратора 2 мм, ширина образца 2 мм;

KCT^{+100} 150/3/7,5 – ударная вязкость, определённая на образце с концентратором вида T при температуре $+100$ °С. Максимальная энергия удара маятника – 150 Дж, глубина концентратора 3 мм, ширина образца 7,5 мм.

Перед началом эксперимента определяют угол взлета маятника на холостом ходу. Для этого стрелку шкалы устанавливают в начальное положение и дают маятнику свободно падать из его верхнего положения. При правильной работе копра стрелка указателя остановится напротив нулевого положения шкалы.

Испытания проводят на трех стандартных образцах. Перед испытанием штангенциркулем измеряют толщину и ширину каждого образца в его середине с точностью до 0,01 мм и вычисляют площадь их поперечного сечения. Образец кладут на две опоры, расположенные в нижней части маятникового копра так, чтобы удар приходился по ребру образца. Маятник поднимают до верхнего положения и закрепляют с помощью специальной защелки. Стрелку на шкале устанавливают в исходное положение на ноль, затем освобождают защелку и дают маятнику падать. В нижней точке падения маятник ударяет образец, разбивает его и отклоняется в другую сторону на определенную высоту, пропорциональную работе, затраченной на разрушение образца, и равную произведению веса маятника на разность высот его центра тяжести до и после испытаний. Одновременно при движении вверх

маятник поднимает планку с указателем на высоту, фиксируемую по шкале. Удельную ударную вязкость материала рассчитывают по формуле:

$$P=A-A_0S,$$

где A -работа, совершенная маятником при разрушении образца, Н·м;

A_0 -работа, совершенная маятником при холостом ходе, Н·м;

S -площадь поперечного сечения образца, м².

Результаты испытаний и расчетов сводят в таблицу 2.

Таблица 2.

Результаты испытаний и расчетов

Материал образца	Шири на образц а, B	Высот а образц а, H	Глуби на конце нтрат ора, h	Высот а рабоче го сечени я, H_1	Площа дь попере чного сечени я S_0 , см ²	Рабо та удар а K , Дж (кгс· м)	Ударна я вязкост ь KC , Дж/см ²
	см						

