

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования “Гомельский государственный технический университет им. П.О.Сухого”

Механико-технологический факультет

Кафедра “Материаловедение в машиностроении”

ОТЧЕТ по лабораторной работе № 3 :
Определение ударной вязкости полимерных и композиционных материалов

Выполнил
Студент группы ТТ-21

Проверил преподаватель
Бобрышева С.Н

Гомель, 2021

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.

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

Объекты и оборудование: Образцы из различных полимеров 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.

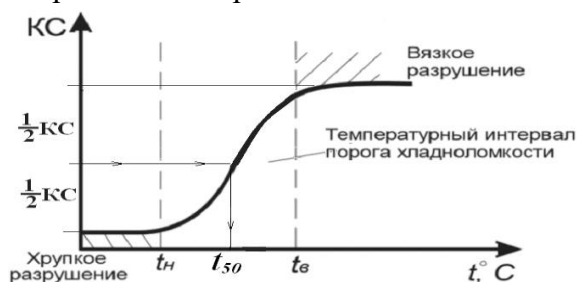
Характер изменения пластичности и вязкости (работы деформации) с увеличением скорости деформации зависит от типа разрушения – срез или отрыв.

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.

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 изготавливать 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.

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.

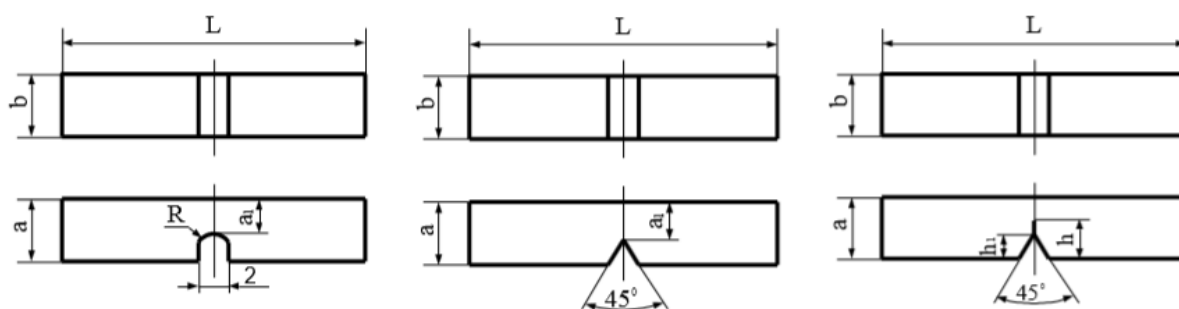


Рис. 3. Форма и размеры образцов для испытания

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.

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 в поперечном сечении	$3 \pm 0,5$ мм
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.

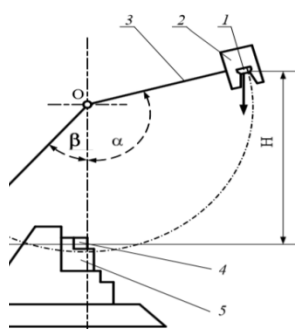


Рис. 4. Кинематическая схема маятникового копра:

1 – нож; 2 – маятник; 3 – штанга;

4 – образец; 5 – опоры

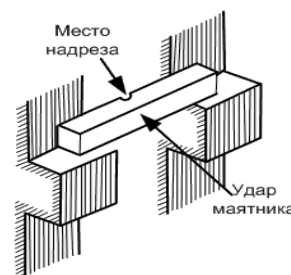


Рис. 5. Расположение образца на опорах копра

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

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

где K – работа удара, затраченная на разрушение образца, Дж (кгс·м); S_0 – начальная площадь поперечного сечения образца в месте концентратора, м^2 (см^2).

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.

Удельную ударную вязкость материала рассчитывают по формуле:

$$P = A - A_0 S,$$

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, м^2 .

Результаты испытаний и расчетов сводят в таблицу 2.

Свойства материалов

Полиэтилен низкого давления (ПНД). Главная особенность ПНД – это высокая химическая стойкость при воздействии на него агрессивных сред (кислая, щелочная и другие). Кроме того, данный материал легко перерабатывается, что является плюсом с позиции экономии средств. Также он имеет повышенную плотность. Полиэтилен низкого давления имеет хорошую пластичность и прочность, чем заслужил широкое применение, ведь он является долговечным материалом. Эти характеристики позволяют использовать его во многих отраслях промышленного производства и не только.

Основные физико-химические свойства ПНД представлены в таблице:

Показатель	Значение ПНД
Температура	120 – 150 °С
Плотность	0,93 – 0,97 г/см ³
Температура длительного использования	40 – 50 °С
Морозостойкость	До - 70 °С
Молекулярный вес	80000 - 300000
Степень кристалличности	75 – 85%
Теплопроводность	0,33 – 0,38 Вт/(м·К)
Относительное удлинение	50 - 1200
Давление	> 0,1 – 2 МПа

К преимуществам ПНД можно отнести следующие параметры: высокая прочность и твёрдость; высокая износостойкость; нетоксичный материал; безопасность использования; на материал не воздействуют агрессивные среды (кислая, щелочная); стойкость к радиации; материалу не страшны микроорганизмы, которые могут воздействовать на него.

Как обычно это бывает, среди множества преимуществ, всегда можно выделить и недостатки.

К ним относятся: возможность плавления при высоких температурах; при воздействии солнечных лучей или ультрафиолетового излучения возможна деформация материала или полная потеря пригодности.

Полипропилен – твердое вещество белого цвета, является продуктом полимеризации пропилена и принадлежит к классу полиолефинов. Проще говоря, это пластиковый полимер с широкой областью применения. **Основные физические свойства**

- Низкая плотность материала. Полипропилен имеет самую низкую плотность из всех пластмасс, что выгодно отличает его от более плотных аналогов.
- Высокая прочность. Многочисленные эксперименты показали, что он выдерживает большую нагрузку, что намного превышает возможности полиэтилена.
- Устойчивость к низким температурам. Полимер прекрасно справляется с отрицательными температурами, выдерживая – 10 градусов по Цельсию и более низкие температуры.
- Устойчивость к высоким температурам. Выдерживает не только низкие, но и высокие температуры, его температура плавления составляет 160 – 170 градусов по Цельсию.
- Устойчивость к резким перепадам температуры. Быстрая смена температурного режима также не страшна этому материалу. Хорошо выдерживает стремительный переход от минуса к плюсу и обратно.
- Превосходные диэлектрические свойства. Высокая диэлектрическая константа вместе с большой диэлектрической прочностью обеспечивают широкие возможности его применения в качестве электроизоляционного материала.
- Легкая обработка. Полипропилен легко поддается сварке, распилу, сверлению, хорошо гнется, что значительно расширяет возможности его применения в промышленности и быту.

Химические характеристики

- Устойчивость к агрессии химических веществ. Эта особенность материала позволяет широко применять его для нужд химических предприятий. Он выдерживает воздействие

раскаленного металла, различных кислот и испарений. В частности, это свойство используется при изготовлении воздуховодов и вентиляции для вредных производств.

- Экологичность и безопасность для окружающей среды и человека. Многочисленные опыты доказали нетоксичность и абсолютную экологическую безопасность этого материала для окружающей среды и человека. Поэтому он используется при производстве емкостей для воды, а также различных жидкостей и сыпучих продуктов питания. Очень часто его применяют при строительстве сооружений для очистки воды.

Полиэтилен высокого давления (ПЭВД) – это полиэтилен, получаемый при высоком давлении (радикальной полимеризацией), который характеризуется более низкой температурой плавления и плотностью чем полиэтилен, получаемый ионной полимеризацией (полиэтилен низкого давления (ПЭНД). При радикальном механизме полимеризации образуется продукт, содержащий значительное число разветвленных звеньев в цепи имеющих меньшую плотность (910—930 кг/м³), степень кристалличности (50—65%) и, как правило, меньшую молекулярную массу (80000—500000) по сравнению с ПЭНД (800000—800000).

Таблица 1: Основные физико-механические свойства ПЭВД

Наименование показателя	Значение для ПЭВД
Температура стеклования, °С	-25
Температура плавления, °С	103-115
Температура хрупкости, °С	-45...-120
Температура размягчения по Вика, °С	80-90
Температура длительной эксплуатации, °С	50
Степень кристалличности, %	50-65
Плотность, кг/м ³	910-930
Показатель текучести расплава, г/10 мин	0,2-20
Морозостойкость, °С	-70
Теплостойкость по Мартену, °С	—
Верхний предел рабочих температур, °С	60-70
Нижний предел рабочих температур, °С	-120...-45
Предел текучести при растяжении, МПа	6,8-13,7
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	7-16
Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	12-20
Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	12
Модуль упругости при растяжении, МПа	147-245
Модуль упругости при изгибе, МПа	118-225
Модуль упругости при сжатии, МПа	—
Относительное удлинение при разрыве, %	150-1000
Твердость по Бринелю, МПа	14-25
Ударная вязкость по Шарпи, кДж/м ² без надреза/с надрезом	Не разр./ не разр.
Коэффициент трения по стали	0,58
Объемное удельное электрическое сопротивление, Ом·м	(0,1-1)×10 ¹⁵
Поверхностное удельное электрическое сопротивление, Ом	10 ¹⁴ -10 ¹⁵
Водопоглощение за 24 часа при 23°С, %	0,01
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	2,1-2,8
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,2-0,36
Температурный коэффициент линейного расширения, град ⁻¹	(22-55)×10 ⁻⁵
Коэффициент температуропроводности, м ² /с	1,4×10 ⁻⁷

Эбонит, часто еще называемый полисульфидом каучука, является продуктом вулканизации каучука с довольно большим количеством серы. Сам процесс изготовления эбонита является довольно трудоемким, в котором применяются смеси из пыли угольной и эбонитовой. А также обязательно там должны присутствовать ускорители, активаторы и пластификаторы.

К основным характеристикам эбонита можно отнести следующие:

- Высокая стойкость к разнообразным агрессивным жидкостям;
- Отличная адгезия к металлам;
- Легкость и простота в обработке;
- Негигроскопичность;
- Газонепроницаемость.

Однако помимо всех преимуществ, эбонит имеет и некие свои недостатки. Наиболее главным недостатком данного специфического материала является то, что он становится очень хрупким при низких температурах. При этом важные свойства эбонита — стойкость к животным и растительным жирам, олифе, соленым растворам, углеводам и т.д., поэтому применение эбонита особенно распространено в производстве баков для аккумуляторов, а также разнообразных емкостей с жидкостями агрессивными.

Результаты испытаний и расчетов

Материал образца	Ширина образца, B	Высота образца, H	Глубина концентра- тора, h	Высота рабочего сечения, H_1	Площадь поперечного сечения S_0 , мм^2	Работа удара K , Дж (кгс·м)	Ударная вязкость KC , Дж/мм ²
	мм						
ПЭНД	10	4	0,3	3,7	37	4,6	1,0
ПП(1)	10	3	0,3	2,7	27	4,6	0,4
ПП(2)	15	8	0,5	7,5	112,5	4,6	0,8
ПЭВД	10	3	0,3	2,7	27	4,6	0,8
ЭБОНИТ(1)	-----	14	3	11	95	4,6	0,8
ЭБОНИТ(2)	-----	20	2	18	254	4,6	0,8
ЭБОНИТ(3)	-----	20	-----	20	314	4,6	1,0

Вывод: после эксперимента, было выявлено, что ударная вязкость имеет отличия на материале с концентратором и без: при подсчете ударной вязкости с V-образным надрезом, она оказалась меньшей, чем без него.