

Методы испытаний полимерных материалов

ООО «КОМЕФ»

2007 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Подготовка образцов для испытаний

Прессование пластин ГОСТ 12019
Вырубка образцов
Изготовление образцов фрезерованием
Литьё образцов ГОСТ 12019
Кондиционирование образцов ГОСТ 12423-66

1. Механические испытания

Прочность, деформация и модуль упругости при растяжении ГОСТ 11262, ASTM D638
Прочность и модуль упругости при изгибе ISO 178, DIN 53452, ASTM D790, ГОСТ 9550, 4648

2. Испытания на твердость

Соотношение шкал твердости
Твердость по Бринеллю ISO 2039-1 (DIN 53456)
Твердость по Роквеллу ISO 2039-2
Твердость по Шору ISO 868 (DIN 53505, ASTM D2240)

3. Испытания на прочность при ударе

Понятие прочности при ударе
Ударная прочность по Изоду ISO 180, ASTM D256, ГОСТ 19109
Ударная прочность по Шарпи ISO 179, ASTM D256, ГОСТ 4647

4. Тепловые испытания

Теплостойкость по Вика ISO 306, DIN 53460, ASTM D1525, ГОСТ 15088
Интерпретация тепловых характеристик. Сравнение методов ISO и ASTM.
Деформационная теплостойкость и деформационная теплостойкость под нагрузкой ISO 75 (DIN 53461, ASTM D648)
Деформационная теплостойкость (HDT) и аморфные и полукристаллические пластики
Теплопроводность ASTM C 177
Коэффициент линейного теплового расширения ASTM D696, DIN 53752

5. Испытания на воспламеняемость

Общие сведения о воспламеняемости по стандарту UL94
Краткое описание классификационных категорий стандарта UL94
Индекс воспламеняемости при ограниченном содержании кислорода ISO 4589 (ASTM D 2863)
Испытания раскаленной проволокой IEC 695-2-1

6. Электрические испытания

Электрическая прочность диэлектрика IEC 243-1, ГОСТ 6433.3
Поверхностное удельное сопротивление IEC 93 (ASTM D257), ГОСТ 6433.2
Объемное удельное сопротивление IEC 93 (ASTM D257)
Относительная диэлектрическая постоянная IEC 250, ГОСТ 22372
Коэффициент рассеяния IEC 250, ГОСТ 22372
Дугостойкость ASTM D495

7. Оптические испытания

- Мутность и светопропускание ASTM D1003, ГОСТ 15875
- Глянец DIN 67530, ASTM D523

8. Физические испытания

- Плотность ISO 1183 (DIN 53479, ASTM D792, ГОСТ 15139)
- Водопоглощение ISO 62 (ASTM D570)

9. Реологические испытания

- Усадка при формовании ISO 2577 (ASTM D955)
- Скорость течения расплава/Индекс расплава ISO 1133 (DIN 53735, ASTM D 1238, ГОСТ11645)
- Объемный расход расплава/Объемный индекс расплава ISO 1133 (DIN 53735, ASTM D 1238)
- Вязкость расплава DIN 54811
- Практическое применение характеристик MV, MFR/MFI, MVI в производстве

1. Подготовка образцов для испытаний

Прессование пластин для последующей вырубки образцов ГОСТ 12019-66

Для ряда полимерных материалов – полиэтилена низкого и высокого давления, полипропилена - образцы для определения плотности, предела текучести при растяжении, прочности при разрыве, относительного удлинения, температуры хрупкости, стойкости к растрескиванию, электрических характеристик и цвета окрашенных композиций вырубают из пластин. Пластины прессуют в открытой пресс-форме типа ограничительной рамки, согласно ГОСТ 12019-66. Погрешность поддержания температуры должна быть $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Цикл прессования довольно сложен и включает в себя несколько ступеней и последующее охлаждение до $45-50^{\circ}\text{C}$ со скоростью $20^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Наиболее экономично применение ручного термопресса с размерами плит 380×380 мм и общим усилием 40 тонн.



Ручной гидравлический термопресс THB400 фирмы Fontijne

Пресс-формы должны быть изготовлены из латуни (толщина 6-8 мм), отхромированы и отполированы. Ограничительные рамки изготавливаются разной толщины и также желательно покрыты хромом. Возможно изготовление пресс-форм из нержавеющей стали, однако этот материал сложнее полируется. Термопресс может быть снабжен устройством программирования температуры и давления в виде микропроцессора или компьютера.



Автоматический термопресс с устройством замкнутого цикла охлаждения воды фирмы Fontijne.

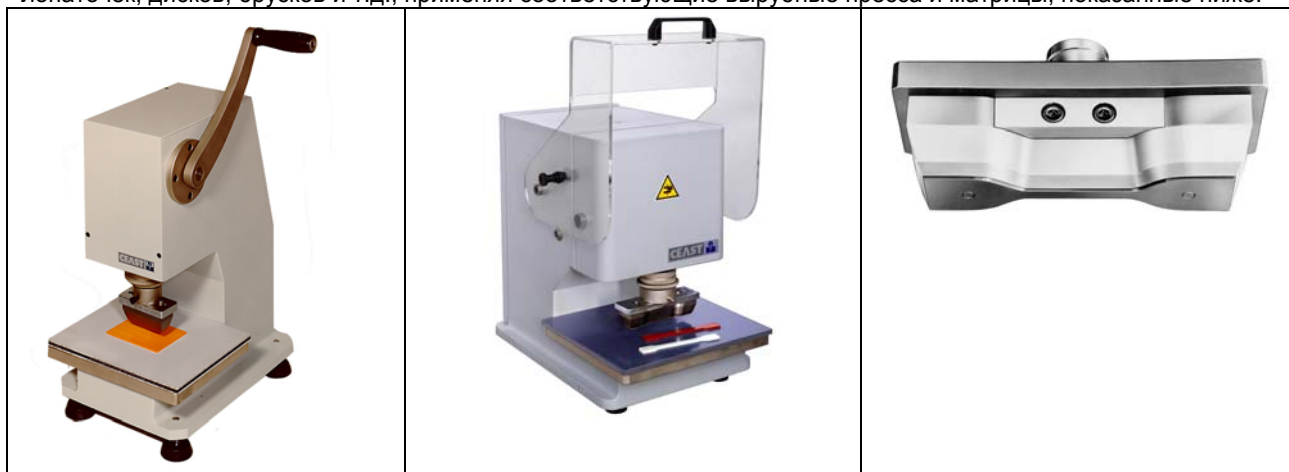
Термопресс может иметь не гидравлический привод, а пневмогидравлический. В таком случае в качестве первичного давления используется сжатый воздух (5-6 бар), с последующим усилением давления в гидравлической системе. Такая система, применяемая в прессах фирмы SCAMEX, развивает общее усилие до 200 тонн, и является более простой в конструкции.



Пневмогидравлический пресс фирмы SCAMEX с усилием 60 т, размеры плит 60х60 см. Точность поддержания температуры до $\pm 1^{\circ}\text{C}$

Вырубка образцов

Поверхность листа материала, полученная прессованием, должна быть гладкой, не иметь вздутий, сколов, трещин, раковин и других видимых дефектов. После этого можно приступить к вырубке образцов – лопаточек, дисков, брусков и т.д., применяя соответствующие вырубные пресса и матрицы, показанные ниже.



Ручной, пневматический вырубной пресса и вырубная матрица с выталкивателем образца фирмы CEAST.

Если образцов для вырубки не много, то достаточно ручного пресса. Но надо помнить, что на нем можно вырубать образцы толщиной до 4 мм. В случае большого количества образцов лучше применять пневматический пресс. Матрицы бывают с выталкивателем и без него, гораздо удобнее работать с выталкивателем.

Изготовление образцов фрезерованием

Образцы для испытаний, из таких материалов, как наполненные полимеры, пластмассы и армированные пластики, могут быть получены только механической обработкой заготовок. Для этого можно использовать механические станки или специализированные фрезерные с пантографом. В станок вставляется мастер-плата, форму которой повторяет фреза.



Рис. Специализированный фрезерный станок с пантографом фирмы CEAST. Мастер платы.

Литье образцов ГОСТ 12019-66

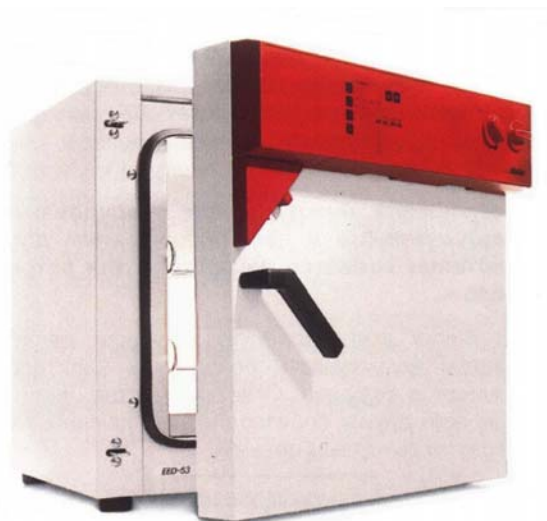
Для ряда полимерных материалов – полипропилена, полистирола и других, образцы изготавливаются методом литья на термопластавтоматах. Литьевая форма обычно рассчитана на отливку сразу 3-5 образцов. Это необходимо для получения результатов для статистических расчетов. Формы могут иметь специальную конструкцию для удобства извлечения образцов.



Литьевые формы фирмы AIM.

Кондиционирование образцов ГОСТ 12423-66

При механической обработке – вырубке, фрезеровании – в образцах появляются напряжения, кроме того полимерные материалы накапливают влагу. Для устранения этих явлений применяют кондиционирование готовых образцов. Кондиционирование проводят при определенной температуре и влажности, которые указываются в нормативно-технической документации на материал. Если влажность не влияет на свойства образцов, относительную влажность не регламентируют и кондиционирование ведут в обычном сушильном шкафу.



Сушильный шкаф FD53 фирмы BINDER

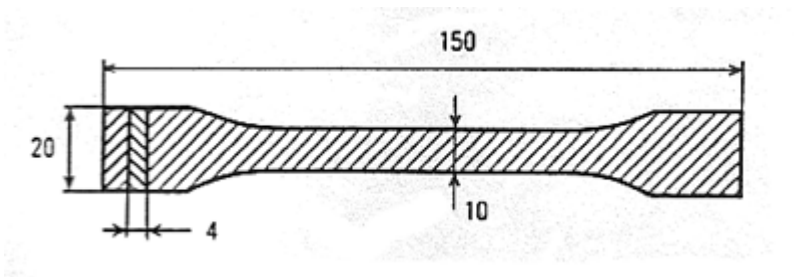
1. Механические испытания

Прочность, деформация и модуль упругости при растяжении ISO R527 (DIN 53455, DIN 53457, ASTM D638M, ГОСТ 11262-80)

Основой для понимания свойств материала являются сведения о том, как материал реагирует на любую нагрузку. Зная величину деформации, создаваемой данной нагрузкой (напряжением), конструктор может предсказать реакцию конкретного изделия на его рабочие условия. Зависимость напряжений и деформаций при растяжении являются наиболее широко публикуемыми механическими свойствами для сравнения материалов или конструирования конкретных изделий.

Скорости при испытаниях:

- Скорость А – 1 мм/мин – модуль растяжения.
- Скорость В – 5 мм/мин – диаграмма напряжений при растяжении для смол со стекловолоконным наполнителем.
- Скорость С – 50 мм/мин – диаграмма напряжений при растяжении для смол без наполнителя.



Универсальный образец для испытаний ISO R527, ГОСТ 11262-80(тип 2)



Универсальная испытательная машина для проведения механических испытаний фирмы Galdabini

Зависимости напряжения-деформации при растяжении определяют следующим образом. Образец, имеющий форму двойной лопатки, растягивают с постоянной скоростью и регистрируют приложенную нагрузку и удлинение. После этого вычисляют напряжения и деформации:

- **Напряжение:** $\frac{\text{Нагрузка/единица площади исходного поперечного сечения, МПа}}{\text{Удлинение/исходная длина} \times 100\%}$
- **Деформация:** $\frac{\text{Удлинение/исходная длина} \times 100\%}{\text{Удлинение/исходная длина} \times 100\%}$

Другими механическими свойствами, определяемыми по зависимости напряжения деформации, согласно ГОСТ11262-80 и 9550-81, являются:

• Предел текучести:	Точка на кривой «нагрузка-удлинение», при которой происходит первое увеличение деформации образца без увеличения растягивающей нагрузки
• Прочность при растяжении:	Максимальная нагрузка при испытании на растяжение, отнесенная к площади начального поперечного сечения образца МПа (Н/мм ²)
• Прочность при разрыве (Разрушающее напряжение при растяжении):	Нагрузка, при которой разрушился образец, отнесенная к площади начального поперечного сечения образца МПа (Н/мм ²)
• Предел текучести при растяжении	Растягивающая нагрузка у предела текучести, отнесенная к площади начального поперечного сечения образца, МПа (Н/мм ²)
• Модуль упругости при растяжении:	Вычисляется по формуле $E_p = (F_2 - F_1) \times l_0 / A_0 \times (L_2 - L_1), \text{ МПа}$ Где: F_2 – нагрузка, соответствующая относительному удлинению 0,3%, Н; F_1 – нагрузка, соответствующая относительному удлинению 0,1%, Н; L_0 – расчетная длина образца, мм; A_0 – площадь начального поперечного сечения образца, мм ² ; L_2 – удлинение, соответствующее нагрузке F_2 , мм; L_1 – удлинение, соответствующее нагрузке F_1 , мм.



А: Предел пропорциональности.
 В: Предел текучести.
 С: Предел прочности.
 X: Разрушение.
 0-А: Область предела текучести, упругие свойства.
 После А: Пластичные свойства.

: Диаграмма напряжений

Представленная зависимость имеет прямолинейный участок, на котором приращение деформации сопровождается прямопропорциональным приращением приложенного усилия, что соответствует закону Гука. Эта деформация упругая. Упругие свойства проявляются пластмассами при очень малых численных значениях относительных деформаций. Форма образца и размер сечения рабочей части не изменяются (участок 0-А, рис.).

Следующий участок А – В криволинеен. Отклонение от прямолинейности свидетельствует о проявлении пластической составляющей, вклад которой по мере приближения к точке В возрастает. В точке В происходит резкое изменение хода зависимости, когда приращение деформации происходит без увеличения силы. Это вызвано изменением поперечного сечения образца, которое сужается.

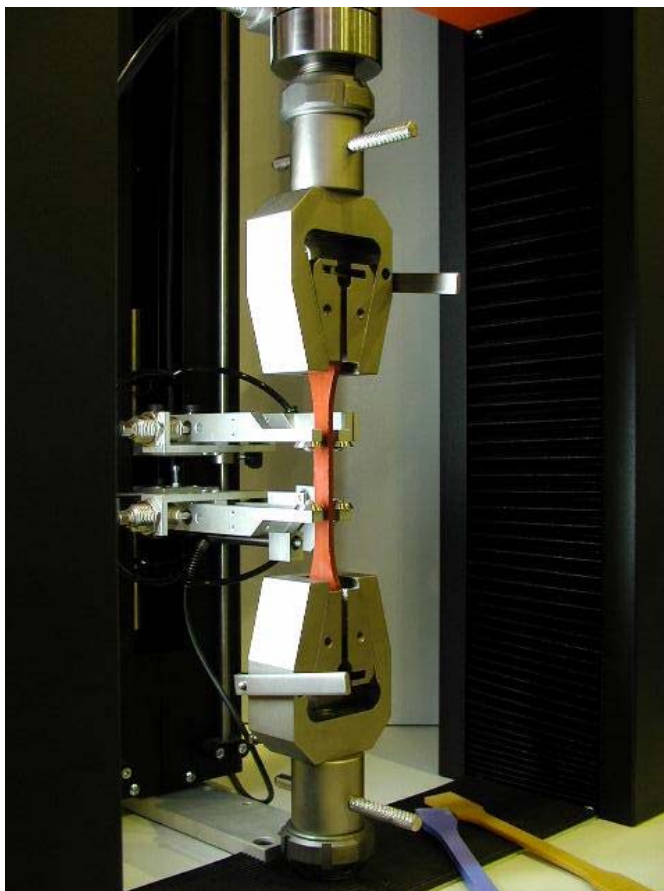
Участок В – С снижения приложенного усилия, сопровождается развитием деформации. В точке минимального напряжения появляется так называемая шейка. Её сечение меньше начального по крайней мере в 10 раз. В области шейки надмолекулярная структура как кристаллических, так и аморфных полимеров становится ориентированной. В кристаллических полимерах происходит процесс рекристаллизации. Если исходная структура сферолитная, то в шейке она фибриллярно-ламеллярная. После образования шейки, вся рабочая часть образца вытягивается до перехода по всей длине в ленту. При этом происходит сближение соседних макроцепей полимера, усиливается межмолекулярное взаимодействие и наблюдается рост приложенного усилия.

В практике получение изделий из пластмасс, подобный эффект ориентационного упрочнения широко используется при производстве волокон, пленное и погонажных изделий.

Ориентационные эффекты не являются полностью необратимыми. После снятия нагрузки восстанавливаются упругие деформации, определенные действием сил межмолекулярного взаимодействия.

Затем, в соответствии с релаксационными процессами, медленно будут восстанавливаться деформации, связанные с внутрицепными перемещениями. Отметим, что это явление используется в практике при производстве термоусаживающихся пленок и изделий.

В аморфных полимерах также могут наблюдаться ориентационные эффекты, но в меньших объемах.



*Клиновидный зажим для жестких пластиков. Нагрузка до 25 кН.
Экстензометр «Пласт». Фирма Galdabini.*

Прочность и модуль упругости при изгибе (ГОСТ 4648-71, ISO 178, DIN 53452, ASTM D790)

Прочность на изгиб является мерой, показывающей, насколько хорошо материал сопротивляется изгибу, или "какова жесткость материала". В отличие от нагрузки при растяжении, при испытаниях на изгиб все силы действуют в одном направлении. Обыкновенный, свободно опертый стержень нагружается в середине пролета: тем самым создается трехточечное нагружение.

Для вычисления модуля упругости при изгибе по зарегистрированным данным строится кривая зависимости прогиба от нагрузки. Начиная от исходной линейной части кривой, используют минимум пять значений нагрузки и прогиба.

Модуль упругости при изгибе (отношение напряжения к деформации) наиболее часто упоминают при ссылке на упругие свойства. Модуль упругости при изгибе эквивалентен наклону линии, касательной к кривой напряжения/деформации, в той части этой кривой, где пластик еще не деформировался. Значения напряжений и модуля упругости при изгибе измеряются в МПа.



Испытания на изгиб



Устройство для испытаний на изгиб

Разрушающее напряжение при изгибе, для полимерных материалов, обычно превышает разрушающее напряжение при растяжении и это отображено в следующей таблице:

Материал	Разрушающее напряжение, МПа, при		
	растяжении	изгибе	сжатии
Полистирол	95	60	70
Винипласт	55	100	80
Фторопласт-4	22,5	11-14	20
Полистирол блочный	35-40	100	80
Полиамид	50-60	70	70-90
Поликарбонат	57-60	80-100	80-90
Стеклотекстолит	340	700	358

2. Испытания на твердость

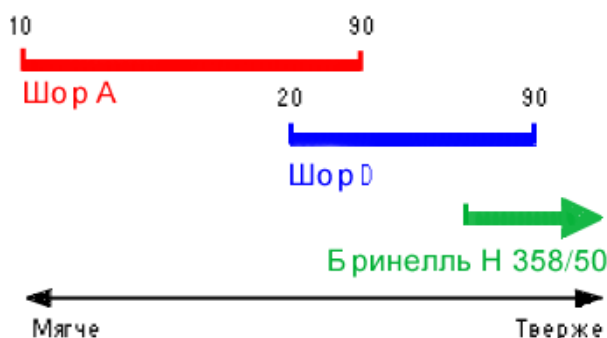
Соотношение шкал твердости

Под твердостью понимают способность материала сопротивляться вдавливанию в него других тел. Твердость характеризует механические свойства поверхности. В связи с этим её значение связано с физико-механическими характеристиками материала. По значению твердости определяют возможные пути эффективного использования пластмассы.

По величине твердости можно судить о некоторых важных свойствах пластмасс: модуле упругости, значении коэффициента Пуассона, пределе текучести и разрушающем напряжении. Существенные достоинства метода измерения твердости состоят в его простоте, воспроизводимости, малой трудоемкости. Кроме того, измерение твердости не сопровождается разрушением образца или реального изделия.

Известные методы определения твердости отличаются геометрией индентора. По методу Бринелля вдавливают стальной шарик, по методу Роквелла – алмазный или металлический конус, по методу Виккерса – алмазную пирамидку. Замеряют либо глубину вдавливания, либо размеры получаемого отпечатка. Размер отпечатка измеряют оптическим способом, для чего образец разгружают и индентор убирают. В пластмассовом образце за время этих действий происходит восстановление упругой деформации, вследствие чего размер отпечатка отличается от истинного, достигнутого при внедрении индентора. Как правило, в этих случаях истинное значение твердости меньше вычисленных по результатам измерений. В связи с изложенным ГОСТ 4670-70 предписывает для определения твердости пластмасс использовать метод Бринелля с замером глубины вдавливания шарика из закаленной стали диаметром 5 мм.

Сравнение твердостей по Бринеллю, Роквеллу и Шору

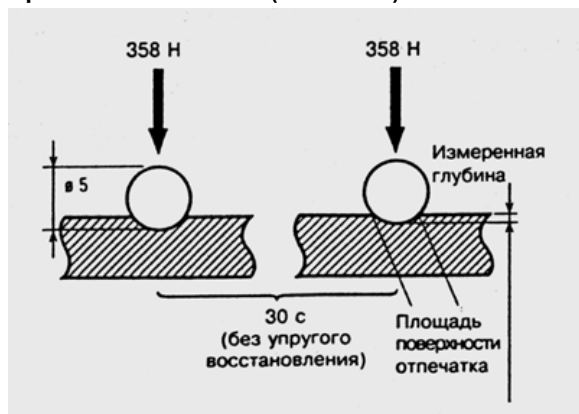


Соотношение шкал твердости

Испытание по Роквеллу определяет твердость пластиков после упругого восстановления деформации образца при испытании. В этом заключается отличие этого метода от испытаний на твердость по Бринеллю и Шору: при этих испытаниях твердость определяют по глубине проникновения под нагрузкой и, следовательно, исключают любое упругое восстановление деформации материала. Поэтому значения по Роквеллу не могут быть непосредственно соотнесены со значениями твердости по Бринеллю или Шору.

Диапазоны значений по шкалам А и D Шора могут быть сравнены с диапазонами значений твердости по отпечаткам, полученным по методу Бринелля. Однако линейной корреляции нет.

Твердость по Бринеллю ISO 2039-1 (DIN 53456)

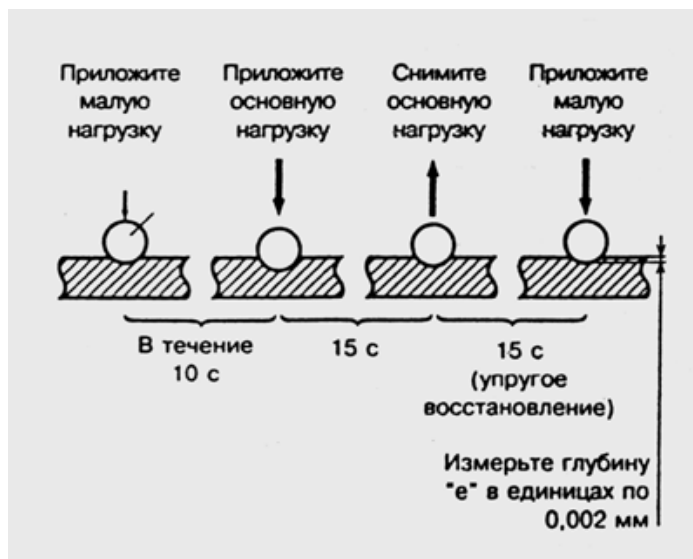


Определение твердости по Бринеллю

Полированный закаленный стальной шарик диаметром 5 мм вдавливают в поверхность испытуемого образца (толщиной не менее 4 мм) с усилием 358 Н. Через 30 с после приложения нагрузки измеряют глубину отпечатка. Твердость по Бринеллю Н 358/30 рассчитывается как "приложенная нагрузка", деленная на "площадь поверхности отпечатка". Результат выражают в Н/мм².

Твердость по Роквеллу ISO 2039-2

Число твердости по Роквеллу непосредственно относится к твердости отпечатка на пластике: чем выше это число, тем тверже материал. Вследствии небольшого перекрытия шкал твердостей по Роквеллу для одного и того же материала можно получить два разных числа по двум разным шкалам, причем оба эти числа могут быть технически правильными



Определение твердости по Роквеллу

Индентор, представляющий собой полированный закаленный стальной шарик, вдавливают в поверхность испытуемого образца. Диаметр шарика зависит от применяемой шкалы Роквелла. Образец нагружают "малой нагрузкой", затем "основной нагрузкой", после чего снова той же "малой нагрузкой". Фактическое измерение основано на общей глубине проникновения, эта глубина вычисляется как общая глубина после снятия основной нагрузки минус упругое восстановление после снятия основной нагрузки и минус глубина проникновения при малой нагрузке. Число твердости по Роквеллу вычисляется как "130 минус глубина внедрения в единицах по 0,002 мм".



Лабораторный тестер твердости по Роквеллу. Фирма CEAST.

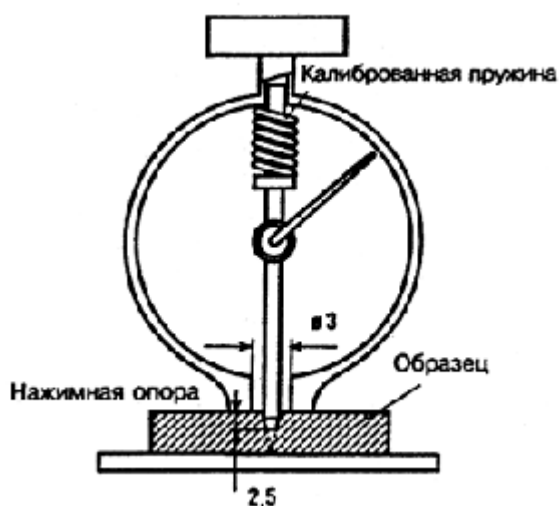
Числа твердости по Роквеллу должны находиться в пределах от 50 до 115. Значения, выходящие за эти пределы, считаются неточными: измерение необходимо повторить еще раз, используя следующую более жесткую шкалу. Шкалы возрастают по жесткости от R через L до M (с увеличением твердости материала). Нагрузки и диаметры инденторов более подробно указаны в таблице.

Шкала твердости	Малая нагрузка, Н	Основная нагрузка, Н	Диаметр шарика индентора Роквелла, мм
R	98,07	588,4	12,7
L	98,07	588,4	6,35
M	98,07	980,7	6,35

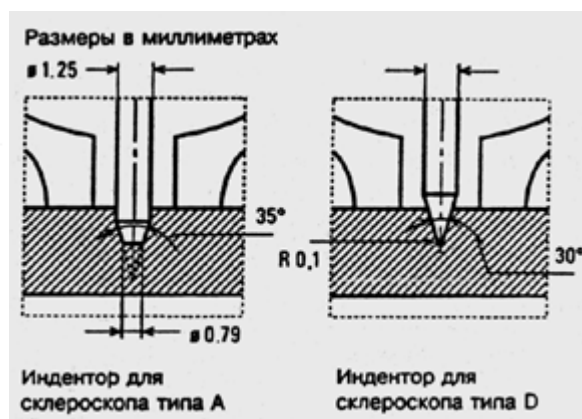
Если для более мягкого материала требуется менее жесткая шкала, чем шкала R, то определение твердости по Роквеллу не подходит. Тогда можно использовать метод определения твердости по Шору (ISO 868), который применяется для низкомолекулярных материалов.

Твердость по Шору ISO 868 (DIN 53505, ASTM D2240)

Значениями твердости по Шору являются показания шкалы, полученные в результате проникновения в пластик определенного стального стержня. Эта твердость определяется приборами двух типов, оба из которых имеют калиброванные пружины для приложения нагрузки к индентору. Прибор А применяется для более мягких материалов, а прибор D - для более твердых.



Определение твердости по Шору



Инденторы для склероскопов

Значения твердостей по Шору изменяются:

- от 10 до 90 для Шора типа А - мягкие материалы,
- от 20 до 90 для Шора типа D - твердые материалы.

Если измеренные значения >90А, то материал слишком тверд, и должен применяться прибор D.

Если измеренные значения <20D, то материал слишком мягок, и должен применяться прибор А.

Не существует никакой простой зависимости между твердостью, измеренной с помощью этого метода испытаний, и другими основными свойствами испытуемого материала.

3. Испытания на прочность при ударе

Понятие прочности при ударе

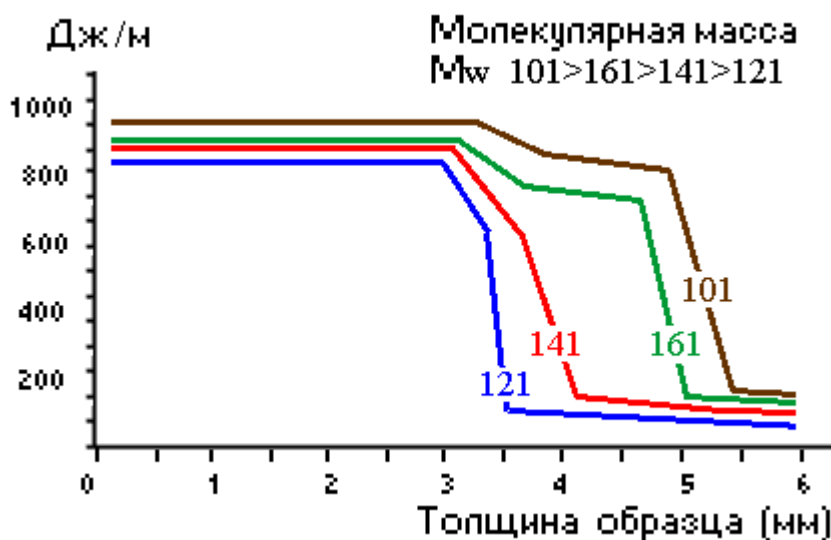
При стандартных испытаниях, например, испытаниях на растяжение и изгиб, материал поглощает энергию медленно. Реально материалы очень часто быстро поглощают энергию приложенного усилия, например, усилия от падающих предметов, ударов, столкновений, падений и т.д. Целью испытаний на прочность при ударе является имитация таких условий.

Для исследования свойств определенных образцов при заданных ударных напряжениях и для оценки хрупкости или ударной вязкости образцов применяются методы Изода и Шарпи. Результаты испытаний по этим методам не должны использоваться как источник данных для проектных расчетов компонентов. Информация о типовых свойствах материала может быть получена посредством испытания разных типов испытываемых образцов, приготовленных в различных условиях, с изменением радиуса надреза и температуры испытаний.

Испытания по обоим методам проводятся на ударном маятниковом копре. Образец зажимают в тисках, а маятниковый копер с закаленной стальной ударной поверхностью определенного радиуса отпускают с заданной высоты, что вызывает срез образца от резкой нагрузки. Остаточная энергия маятника копра поднимает его вверх. Разность высоты падения и высоты возврата определяет энергию, затраченную на разрушение испытываемого образца. Эти испытания могут проводиться при комнатной температуре либо при пониженных температурах для определения хладноломкости. Испытуемые образцы могут быть разными по типу и размерам надрезов.

Результаты испытаний на удар падающим грузом, например, по методу Гарднера или изогнутой плитой, зависят от геометрии падающего груза и опоры. Их можно использовать только для определения относительного ранжирования материалов. Результаты испытаний на удар не могут считаться абсолютными, кроме случаев, когда геометрия испытательного оборудования и образца соответствуют требованиям конечного применения. Можно ожидать, что относительное ранжирование материалов по двум методам испытаний будет совпадать, если характер разрушения и скорости удара одинаковы.

Ударные характеристики могут в большой степени зависеть от толщины образца и ориентации молекул. Разные толщины образцов, используемых в методах ISO и ASTM, могут весьма значительно повлиять на значения прочности при ударе. Изменение толщины с 3 мм на 4 мм может даже привести к переходу характера разрушения от вязкого к хрупкому из-за влияния молекулярной массы и толщины образца с надрезом при использовании метода Изода, как это продемонстрировано для поликарбонатных смол. На материалы, уже показывающие хрупкий характер разрушения при толщине 3 мм, например, материалы с минеральными и стекловолоконными наполнителями, изменение толщины образца не влияет. Такими же свойствами обладают материалы с модифицирующими добавками, увеличивающими ударную прочность.



Влияние толщины и молекулярной массы образца с надрезом на результаты ударных испытаний поликарбонатных смол по Изоду

Необходимо четко представлять, что:

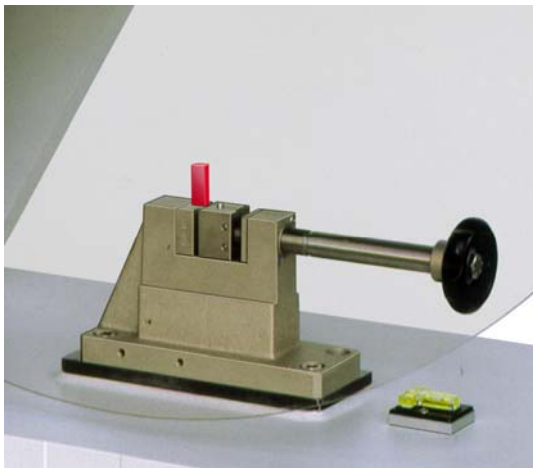
- изменились не материалы, а только методы испытаний;
- упомянутый переход от вязкого разрушения к хрупкому играет незначительную роль в реальной действительности: конструируемые изделия в преобладающем большинстве имеют толщину 3 мм и менее.

Ударная прочность по Изоду ГОСТ 19109-84, ISO 180 (ASTM D256)

Испытания образцов с надрезом на ударную прочность по Изоду стали стандартным методом для сравнения ударной прочности пластиков. Однако результаты этого метода испытаний мало соответствуют реакции формованного изделия на удар в реальной обстановке. Из-за разной чувствительности материалов к надрезу этот метод испытаний позволяет отбраковывать некоторые материалы. Несмотря на то, что результаты этих испытаний часто запрашивались как значимые меры ударной прочности, эти испытания проявляют тенденцию к измерению чувствительности материала к надрезу, а не к способности пластика выдерживать удар. Результаты этих испытаний широко используются как справочные для сравнения ударных вязкостей

материалов. Испытания образцов с надрезом на ударную прочность по Изоду лучше всего применимы для определения ударной прочности изделий, имеющих много острых углов, например ребер, пересекающихся стенок и других мест концентрации напряжений. При испытаниях на ударную прочность по Изоду образцов без надреза, применяется та же геометрия нагружения, за исключением того, что образец не имеет надреза (или зажат в тисках в перевернутом положении). Испытания этого типа всегда дают более высокие результаты по сравнению с испытаниями образцов с надрезом по Изоду из-за отсутствия места концентрации напряжений.

Ударной прочностью образцов с надрезом по методу Изода является энергия удара, затраченная на разрушение надрезанного образца, деленная на исходную площадь поперечного сечения образца в месте надреза. Эту прочность выражают в килоджоулях на квадратный метр: кДж/м^2 . Образец вертикально зажимают в тисках ударного копра.



Устройство зажима образца по Изоду, фирмы ЧЕАСТ

Обозначения ISO отражают тип образца и тип надреза:

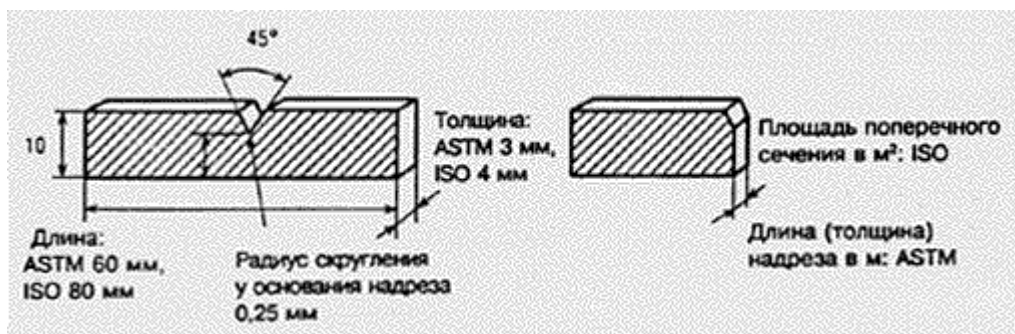
- ISO 180/1A обозначает тип образца 1 и тип надреза А. Как можно увидеть на рисунке ниже, образец типа 1 имеет длину 80 мм, высоту 10 мм и толщину 4 мм.
- ISO 180/1O обозначает тот же образец 1, но зажатый в перевернутом положении (указываемый как "ненадрезанный").

Образцы, используемые по методу ASTM, имеют подобные размеры: тот же радиус скругления у основания надреза и ту же высоту, но отличаются по длине - 63,5 мм и, что более важно, по толщине - 3,2 мм.

Результаты испытаний по ISO определяют как энергию удара в джоулях, затраченную на разрушение испытуемого образца, деленную на площадь поперечного сечения образца в месте надреза. Результат выражают в килоджоулях на квадратный метр: кДж/м^2 .

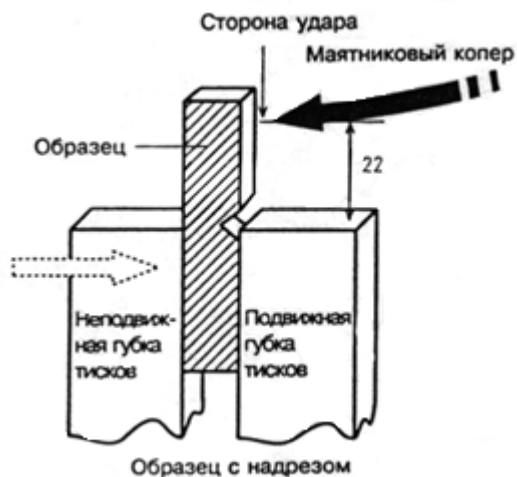
Результаты испытаний по методу ASTM определяют как энергию удара в джоулях, деленную на длину надреза (т.е. толщину образца). Их выражают в джоулях на метр: Дж/м . Практический коэффициент пересчета равен 10: т.е. 100 Дж/м равно приблизительно 10 кДж/м^2 .

Разная толщина образцов может отразиться на различных интерпретациях "ударной прочности", как показано отдельно.



Образцы для измерения ударной прочности

Требования ГОСТа, ISO и ASTM по многим пунктам совпадают или близки, что позволяет использовать для испытаний одни и те же приборы.



Метод измерения ударной прочности по Изоду



Маятниковый копер для измерения ударной прочности по Изоду. Фирма CEAST.

Ударная прочность по Шарпи ГОСТ 4647-80, ISO 179, ASTM D256

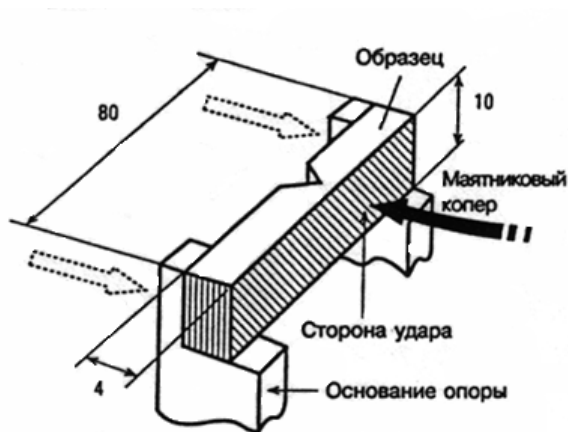
Основным отличием методов Шарпи и Изода является способ установки испытуемого образца. При испытании по методу Шарпи образец не зажимают, а свободно устанавливают на опору в горизонтальном положении.

Обозначения ISO отражают тип образца и тип надреза:

- ISO 179/1C обозначает образец типа 2 и надрез типа C1;
- ISO 179/2D обозначает образец типа 2, но ненадрезанный.

В ГОСТ-4647-80 устанавливается скорость движения молотка в 2,9 м/сек для энергий до 5 Дж и 3,8 м/сек для энергий от 7,5 до 50 Дж

Основным отличием методов Шарпи и Изода является способ установки испытуемого образца. При испытании по методу Шарпи образец не зажимают, а свободно устанавливают на опору в горизонтальном положении.



Метод измерения ударной прочности по Шарпи и прибор для ее измерения фирмы CEAST.

Образцы, используемые по методу DIN 53453, имеют подобные размеры. Результаты по обоим методам ISO и DIN определяются как энергия удара в джоулях, поглощенная испытуемым образцом, деленная на площадь поперечного сечения образца в месте надреза. Эти результаты выражаются в килоджоулях на квадратный метр: кДж/м².

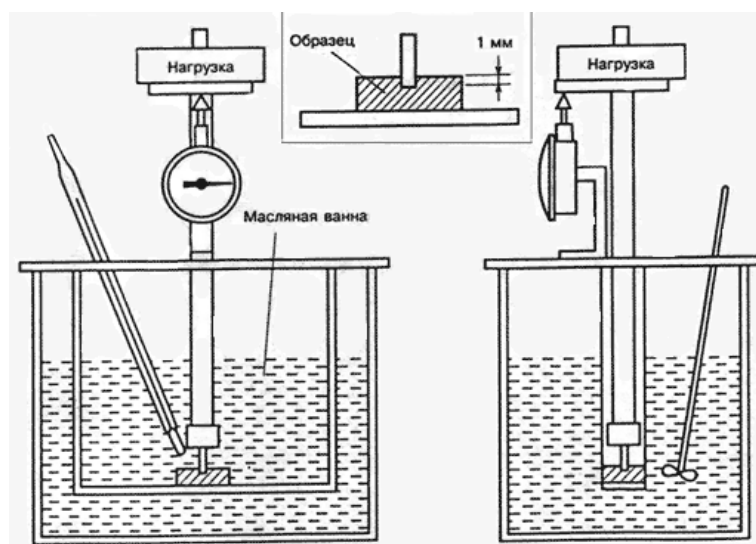
4. Тепловые испытания

Теплостойкость по Вика ГОСТ 15088-83, ISO 306, DIN 53460, ASTM D1525

Эти испытания дают значение температуры, при которой пластик начинает быстро размягчаться. Круглую иглу с плоским концом, имеющую площадь поперечного сечения 1 мм^2 , внедряют в поверхность пластикового испытуемого образца при определенной нагрузке, и температура повышается с равномерной скоростью. Теплостойкость по Вика (VST - температура размягчения по Вика) является температурой, при которой проникновение достигает 1 мм .



Прибор HDT/VICAT для определения теплостойкости фирмы CEAST.



Определение теплостойкости по Вика

В стандарте ISO 306 описаны два метода:

- метод А - нагрузка 10 Н;
 - метод В - нагрузка 50 Н.
- ... с двумя возможными скоростями повышения температуры:
- $50 \text{ }^\circ\text{C}/\text{час}$;
 - $120 \text{ }^\circ\text{C}/\text{час}$.

Результаты испытаний по методу ISO обозначают в виде А50, А120, В50 или В120. Испытательную сборку погружают в нагревательную ванну с начальной температурой $23 \text{ }^\circ\text{C}$. По истечении 5 мин прикладывают нагрузку 10 или 50 Н. Температуры ванны, при которой наконечник индентора внедряется на глубину $1 \pm 0,01 \text{ мм}$, регистрируют как теплостойкость по Вика материала при выбранной нагрузке и скорости повышения температуры.

Интерпретация тепловых характеристик. Сравнение методов ISO и ASTM

Можно обнаружить некоторые различия в публикуемых результатах по методу ISO по сравнению со стандартами ASTM из-за разных размеров испытуемых образцов: значения деформационной теплостойкости, измеренные по методам ISO, могут быть ниже.

Деформационная теплостойкость и деформационная теплостойкость под нагрузкой ISO 75, DIN 53461, ASTM D648

Деформационная теплостойкость является относительной мерой способности материала выдерживать нагрузку в течение короткого периода времени при повышенных температурах. При этих испытаниях измеряют влияние температуры на жесткость: на стандартном испытуемом образце создаются определенные поверхностные напряжения, и температуру повышают с равномерной скоростью.

Образцы, используемые в испытаниях бывают отпущенные (**annealed**) и неотпущенные (**unannealed**). Отпуск представляет собой процесс, при котором образец нагревают до определенной температуры, некоторое время выдерживают при ней, а затем постепенно понижают температуру до уровня окружающей среды. Такие действия позволяют снизить или полностью удалить внутренние напряжения в теле образца, возникшие, например, в момент ускоренной полимеризации в термопластавтомате.

По всем стандартам ГОСТ, ISO и ASTM нагруженный испытуемый образец погружают в нагревательную ванну, заполненную силиконовым маслом.

Поверхностные напряжения образца бывают:

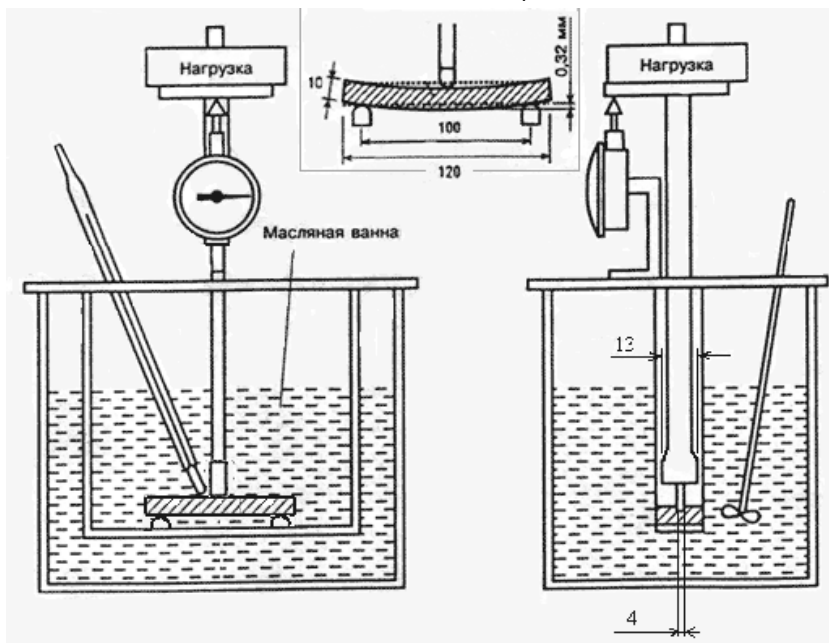
- низкими - для методов ISO и ASTM - 0,45 МПа;
- высокими - для метода ISO - 1,80 МПа, а для метода ASTM - 1,82 МПа.

Действие силы допускается в течение 5 мин, но этот период выдержки может быть пропущен, если испытуемые материалы не проявляют заметной ползучести в течение первых 5 минут. По истечении 5 мин исходную температуру ванны 23 °С повышают с равномерной скоростью 2 °С/мин.

За деформацией испытуемого образца ведется непрерывное наблюдение: температуру, при которой прогиб достигает 0,32 мм (ISO) и 0,25 мм (ASTM), регистрируют как "деформационную теплостойкость под нагрузкой" или просто "деформационную теплостойкость" (температура тепловой деформации).

Несмотря на отсутствие упоминаний в обоих стандартах по испытаниям, обычно используют два сокращения:

- **DTUL** - Деформационная теплостойкость под нагрузкой,
- **HDT** - Деформационная теплостойкость или теплостойкость при изгибе.



Определение деформационной теплостойкости

В общей практике сокращение DTIL используется для результатов, полученных по методу ASTM, а сокращение HDT - для результатов по методу ISO.

В зависимости от созданного поверхностного напряжения к сокращению HDT добавляют буквы А или В:

- HDT/A для нагрузки 1,80 МПа,
- HDT/B для нагрузки 0,45 МПа.

Деформационная теплостойкость (HDT) и аморфные и полукристаллические пластики

Для аморфных полимеров значения HDT примерно совпадают со значениями температуры стеклования T_g материала. Поскольку аморфные полимеры не имеют определенной температуры плавления, они обрабатываются в своем, высокоэластическом состоянии при температуре выше T_g . Кристаллические полимеры могут иметь низкие значения HDT и еще обладать конструктивной полезностью при более высоких температурах: метод определения HDT более воспроизводим с аморфными пластиками, чем с кристаллическими. Для некоторых полимеров может потребоваться отпуск (отжиг) испытуемых образцов для получения достоверных результатов.

При добавлении стекловолокон в полимер, повышается его модуль. Поскольку HDT представляет собой температуру, при которой материал имеет определенный модуль, увеличение модуля также повышает значение

HDT. Стекловолокно оказывает большее влияние на HDT кристаллических полимеров по сравнению с аморфными полимерами.

Несмотря на широкое использование для указания рабочей характеристики при высокой температуре, испытания по определению HDT имитируют только узкий диапазон условий. Во многих высокотемпературных вариантах применения изделия работают при более высоких температурах, большей нагрузке и без опор. Поэтому результаты, полученные при этом методе испытаний, не представляют максимальную температуру применения, поскольку в реальной действительности такие существенные факторы, как время, нагрузка и номинальные поверхностные напряжения могут отличаться от условий испытаний.

Теплопроводность ASTM C 177

Термоизолирующие свойства пластика определяются посредством измерения теплопроводности. Широкие пластины пластика устанавливают по обе стороны небольшой нагреваемой плиты, а к свободным поверхностям пластин прикрепляют теплоотводы. Термоизоляторы, расположенные вокруг испытательной камеры, предотвращают радиальные потери тепла. После этого можно измерить аксиальный поток тепла через пластиковые пластины. Результаты регистрируются в Вт/м²С.



Прибор для определения теплопроводности вспененных материалов. Фирма CEAST.

Коэффициент линейного теплового расширения ASTM D696, DIN 53752

Каждый материал при нагревании расширяется. Полимерные детали, изготовленные методом литья под давлением, расширяются и изменяют размеры пропорционально повышению температуры. Для оценки этого расширения конструкторы используют коэффициент линейного теплового расширения (CLTE), определяющий изменения длины, ширины и толщины формованной детали. Аморфные полимеры в основном отличаются согласующимися скоростями расширения по всему своему практически используемому диапазону температур. Кристаллические полимеры в основном проявляют повышенные скорости расширения при температурах выше их температуры стеклования.



Прибор фирмы CEAST для определения CLTE

Дополнение наполнителей, создающих анизотропию, значительно влияет на коэффициент CLTE полимера. Стекловолокно обычно ориентированно в направлении фронта течения: при нагревании полимера волокна препятствуют расширению вдоль своей оси и снижают коэффициент CLTE. В направлениях, перпендикулярных направлению течения и толщине, коэффициент CLTE будет выше.

Полимеры могут быть составлены по рецептуре с коэффициентом CLTE, соответствующим коэффициентам теплового расширения металлов или других материалов, используемых в комбинированных конструкциях, например в автомобильных деталях.

5. Испытания на воспламеняемость

Общие сведения о воспламеняемости по стандарту UL94

Наиболее широко распространенными стандартами по характеристикам воспламеняемости являются стандарты категорий UL94 (научно-исследовательских лабораторий страховых компаний) для пластиков. Эти категории определяют способность материала к гашению пламени после воспламенения. Может быть присвоено несколько категорий на основе скорости горения, времени гашения, стойкости к образованию капель и в зависимости от того, горючи или негорючи образующиеся капли. Каждому испытуемому материалу может быть присвоено несколько категорий в зависимости от цвета и/или толщины. При конкретном выборе материала для применения категория UL должна определяться по самой тонкой стенке пластиковой детали. Категория UL всегда должна указываться вместе с толщиной: простое указание категории UL без толщины недостаточно.



Стенд для определения воспламеняемости фирмы ЧЕАСТ согласно UL94

Краткое описание классификационных категорий стандарта UL94

HB

Медленное горение горизонтального образца.

Скорость горения менее 76 мм/мин при толщине менее 3 мм.

Скорость горения менее 38 мм/мин при толщине более 3 мм.

V-0

Горение вертикального образца прекращается в пределах 10 с; образование капель не допускается.

V-1

Горение вертикального образца прекращается в пределах 30 с; образование капель не допускается.

V-2

Горение вертикального образца прекращается в пределах 30 с; допускаются капли горящих частиц.

5V

Горение вертикального образца прекращается в пределах 60 с после пяти воздействий пламенем с длительностью каждого воздействия на испытуемый образец по 5 с.

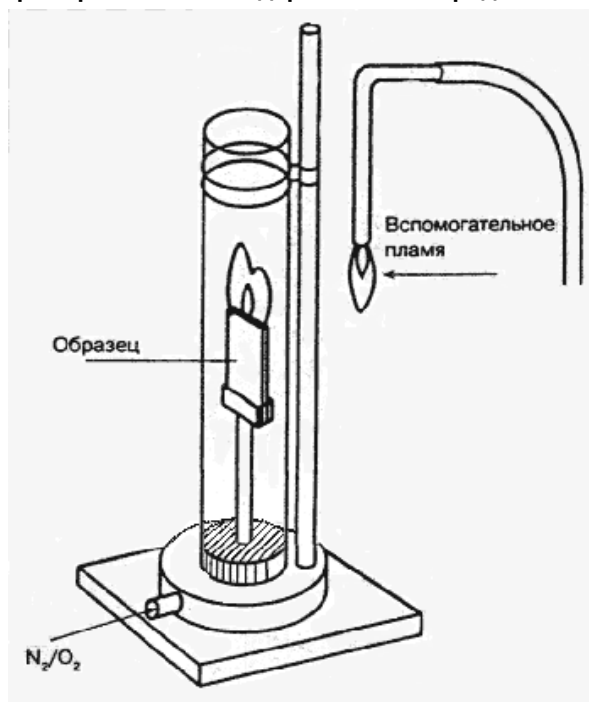
5VB

Образцы в виде широких пластин могут прогорать насквозь с образованием отверстий.

5VA

Образцы в виде широких пластин не должны прогорать насквозь (т.е. не образовывать отверстия) - это самая жесткая категория UL.

Индекс воспламеняемости при ограниченном содержании кислорода ISO 4589 (ASTM D 2863)



Испытание на определение кислородного индекса

Целью определения индекса воспламеняемости при ограниченном содержании кислорода (LOI) является измерение относительной воспламеняемости материалов при горении их в контролируемой окружающей среде. Индекс LOI представляет собой минимальное содержание кислорода в атмосфере, которое может поддерживать пламя на термопластичном материале.



Прибор фирмы ЧЕАСТ для определения кислородного индекса

Испытательной атмосферой является внешнерегулируемая смесь азота и кислорода. Закрепленный образец поджигают вспомогательным пламенем, которое затем гасят. При последовательных циклах испытаний концентрацию кислорода снижают до тех пор, пока образец больше не может поддерживать горение. Индекс LOI определяют как минимальную концентрацию кислорода, при которой материал может гореть в течение трех минут, или может сохранять распространение горения образца на расстоянии 50 мм. Чем выше индекс LOI, тем ниже вероятность сгорания.

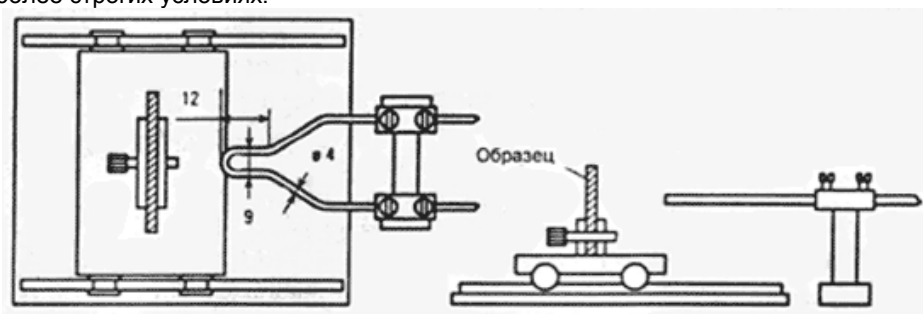
Испытания раскаленной проволокой IEC 695-2-1

Испытания раскаленной (Hot Wire Ignition - HWI) проволокой имитируют тепловые напряжения, которые могут быть вызваны источником тепла или воспламенения, например, перегруженными резисторами или раскаленными элементами. Образец изоляционного материала прижимают в течение 30 с с усилием 1 Н к концевой части электрически нагретой раскаленной проволоки. Внедрение концевой части раскаленной проволоки в образец ограничено. После извлечения проволоки из образца регистрируют время гашения пламени и наличие любых горящих капель.

Образец считают выдержавшим испытание раскаленной проволокой при возникновении одной из следующих ситуаций:

1. В случае отсутствия пламени или тления;
2. Если пламя или тление образца, окружающих его деталей и нижнего слоя гаснет в пределах 30 с после удаления раскаленной проволоки, а также если окружающие детали и нижний слой не выгорели полностью. В случае использования тонкой бумаги в качестве нижнего слоя, эта бумага не должна загораться, или не должно быть подпаливания сосновой доски, в случае использования ее в качестве подложки. Реальные детали под напряжением или кожухи испытывают аналогичным способом. Уровень температуры раскаленного конца проволоки зависит от того, как используется готовая деталь:

- под наблюдением или без наблюдения,
- с непрерывной нагрузкой или без,
- расположена вблизи или вдали от центральной точки подачи питания,
- контактирует с деталью под напряжением или используется как кожух или крышка,
- в менее или более строгих условиях.



Испытание раскаленной проволокой

В зависимости от требуемого уровня строгости условий окружающей готовую деталь среды предпочтительны следующие значения температур: 550, 650, 750, 850 или 960 °С. Соответствующая температура испытаний должна быть выбрана путем оценки риска выхода из строя из-за недопустимого нагрева, воспламенения и распространения пламени.



Прибор фирмы ЧЕАСТ для испытаний раскаленной проволокой

6. Электрические испытания

Электрическая прочность диэлектрика IEC 243-1, ASTM D149, ГОСТ 6433.3-71

Электрическая прочность диэлектрика отражает электрическую прочность изоляционных материалов при разных частотах электропитания (от 48 Гц до 62 Гц) либо является мерой сопротивления пробоем диэлектрического материала под приложенным напряжением. Приложенное напряжение непосредственно перед пробоем делят на толщину образца, чтобы получить результат в кВ/мм. Окружающей средой могут быть воздух или масло. Зависимость от толщины может быть существенной, и поэтому все результаты регистрируются при данной толщине образца.



Лабораторная установка фирмы ЧЕАСТ для измерения электрической прочности

На результаты влияют многие факторы:

- толщина, однородность и содержание влаги в испытуемом образце;
- размеры и теплопроводность испытательных электродов;
- частота и форма кривой прикладываемого напряжения;
- температура, давление и влажность окружающей среды;
- электрические и тепловые характеристики окружающей среды.

Поверхностное удельное сопротивление IEC 93 (ASTM D257, ГОСТ 6433.2-71)

Когда изоляционный пластик находится под воздействием напряжения, часть общего тока протекает вдоль поверхности пластика, если имеется другой проводник или провод заземления, подсоединенные к этому изделию. Удельное поверхностное сопротивление является мерой способности сопротивления этому поверхностному току.

Оно измеряется как сопротивление, когда между смонтированными на поверхности единичной ширины электродами с единичным расстоянием между ними протекает постоянный ток. Это сопротивление измеряется в омах, иногда называемых "омах на квадрат".



Прибор фирмы ЧЕАСТ для определения поверхностного и удельного объемного сопротивления

Объемное удельное сопротивление IEC 93 (ASTM D257), ГОСТ 22372

При приложении электрического потенциала поперек изолятора, протекание тока будет ограничено свойствами сопротивления материала. Объемное удельное сопротивление представляет собой электрическое сопротивление при приложении электрического напряжения к противоположным граням единичного куба. Измеряется в Ом*см. На объемное удельное сопротивление оказывают влияние окружающие условия, действующие на материал. Оно изменяется обратно изменению температуры и немного уменьшается во влажной окружающей среде. Материалы с объемным удельным сопротивлением более 10^8 Ом*см считаются изоляторами. Частичные проводники имеют значения объемного удельного сопротивления от 10^3 до 10^8 Ом*см.

Относительная диэлектрическая постоянная IEC 250

Как указано в стандарте IEC 250, "относительная диэлектрическая постоянная изоляционного материала представляет собой отношение емкости конденсатора, в котором пространство между и вокруг электродов заполнено изоляционным материалом, к емкости конденсатора с той же конфигурацией электродов в вакууме".



Прибор фирмы ЧЕАСТ для определения диэлектрической проницаемости

В вариантах применения диэлектриков с переменным током требуемыми характеристиками являются хорошее удельное сопротивление и низкое рассеяние энергии. Рассеяние электроэнергии приводит к неэффективности функционирования электронных компонентов и вызывает повышение температуры пластиковой детали, которая служит диэлектриком. В идеальном диэлектрике, например в вакууме, отсутствуют потери энергии на дипольное перемещение молекул. В сплошных материалах, например в пластиках, дипольное перемещение становится одним из влияющих факторов. Мерой такой неэффективности является относительная диэлектрическая постоянная (ранее называвшаяся диэлектрической константой).

Это безразмерный коэффициент, получаемый делением параллельной емкости системы с пластиковым диэлектрическим элементом на емкость системы с вакуумом в качестве диэлектрика. Чем меньше это число, тем лучше характеристики материала в качестве изолятора.

Коэффициент рассеяния IEC 250

Как указано в стандарте IEC 250, "угол диэлектрических потерь изоляционного материала представляет собой угол, на который разность фаз между приложенным напряжением и полученным током отклоняется от величины $\pi/2$ радиан, когда диэлектрик конденсатора состоит исключительно из испытуемого диэлектрического материала. Коэффициент рассеивания $tg \delta$ диэлектрического изоляционного материала является тангенсом угла потерь δ ".

В идеальном диэлектрике кривые напряжения и тока не совпадают по фазе точно на 90° . Когда диэлектрик становится эффективным менее чем на 100%, волна тока начинает отставать от напряжения прямо пропорционально. Величина волны тока, которая отклоняется от несовпадения на 90° по фазе с напряжением, определяется как "угол потерь диэлектрика". Тангенс этого угла называют "тангенсом потерь" или "коэффициентом рассеяния".

Низкий коэффициент рассеяния является весьма важным для пластиковых изоляторов в высокочастотных вариантах применения, например, в радиолокационном оборудовании и деталях, работающих в условиях воздействия СВЧ: меньшие значения соответствуют более лучшим диэлектрическим материалам. Высокий коэффициент рассеивания имеет важное значение для производительности сварки.

Относительную диэлектрическую постоянную и коэффициент рассеивания измеряют на одном и том же испытательном оборудовании. Полученные результаты испытаний в большой степени зависят от температуры, содержания влаги, частоты и напряжения.

Дугостойкость ASTM D495



Прибор фирмы ЧЕАСТ ARCVIS для определения дугостойкости

В тех случаях, когда допускают прохождение электрического тока через поверхность изолятора, эта поверхность повреждается через некоторое время и становится проводимой. Дугостойкость (Arc Resistance) является величиной времени в секундах, требующегося для создания проводимости изоляционной поверхности при высоком напряжении и низкоамперной дуге. В другом варианте дугостойкостью называют время, в течение которого поверхность пластика может сопротивляться образованию непрерывной токопроводящей дорожки под воздействием высокого напряжения с низкоамперной дугой при особых условиях.

7. Оптические испытания

Мутность и светопропускание ASTM D1003, ГОСТ 15875

Мутность вызывается рассеянием света в материале и может быть следствием влияния молекулярной структуры, степени кристаллизации либо посторонних включений на поверхности или внутри образца полимера. Мутность свойственна только полупрозрачным или прозрачным материалам и не относится к непрозрачным материалам. Мутность иногда считают противоположностью к гляncу, который собственно может быть поглощением падающего пучка света. Однако согласно методу испытания на мутность, фактически измеряют поглощение, пропускание и отклонение луча света полупрозрачным материалом.

Образец помещают на пути узкого пучка света таким образом, что часть света проходит через образец, а другая часть не встречает препятствия. Обе части пучка проходят в сферу, оснащенную фотодетектором. Можно определить две величины:

- общую интенсивность пучка света;
- количество света, отклоненного более чем на $2,5^\circ$ от исходного пучка.

По этим двум величинам можно вычислить следующие два значения:

- мутности, или процента падающего света, рассеянного более чем на $2,5^\circ$,
- коэффициента светопропускания, или процента падающего света, который пропускается через образец.

Глянец DIN 67530, ASTM D523

Глянец связан со способностью поверхности отражать больше света в некотором направлении по сравнению с другими направлениями. Глянец можно измерить с помощью глянцемера. Яркий свет отражается от образца под углом, а яркость отраженного света измеряют фотодетектором. Наиболее часто используют угол 60° . Более блестящие материалы можно измерять под углом 20° , а матовые поверхности - под углом 85° . Глянцемер калибруют при помощи эталона из черного стекла, имеющего значение глянца 100. Пластики имеют меньшие значения - они строго зависят от способа формования.

8. Физические испытания

Плотность ISO 1183 (DIN 53479, ASTM D792, ГОСТ 15139)

Плотность представляет собой массу, деленную на единицу объема материала при 23 °С, и обычно выражается в граммах на сантиметр кубический (г/см^3) или в граммах на миллилитр (г/мл). "Удельная плотность" является отношением массы данного объема материала к массе того же объема воды при указанной температуре. Плотность можно измерить несколькими методами, как описано в стандарте ISO 1183:

- **Метод А**
Метод погружения пластиков в готовом состоянии.
- **Метод В**
Пикнометрический метод для пластиков в виде порошков, гранул, таблеток или формованных изделий, уменьшенных до небольших частиц.
- **Метод С**
Метод титрования для пластиков формы, подобной формам, требующимся для метода А.
- **Метод D**
Метод градиентных столбиков плотности для пластиков, подобных требуемым для метода А. Градиентные столбики плотности представляют собой столбики жидкости, плотность которых равномерно увеличивается от верха вниз. Они особенно пригодны для измерения плотности малых образцов изделий и для сравнения плотностей.



Градиентная колонка для определения плотности полимеров фирмы ЧЕАСТ

Водопоглощение ISO 62 (ASTM D570)

Пластики поглощают воду. Содержание влаги может привести к изменению размеров или таких свойств, как сопротивление электроизоляции, электрические потери диэлектриков, механическая прочность и внешний вид.

Определение водопоглощения пластикового образца определенных размеров осуществляется посредством погружения образца в воду на заданный период времени и при заданной температуре. Результаты измерений выражают либо в миллиграммах поглощенной воды, либо как процент увеличения массы. Сравнить водопоглощение разными пластиками можно только тогда, когда испытываемые образцы идентичны по размерам и находятся в одинаковом физическом состоянии.

Испытуемые образцы предварительно подвергают сушке при 50 °С в течении 24 часов, охлаждают до комнатной температуры и взвешивают, перед тем как погрузить в воду заданной температуры на заданный период времени. Может быть измерено водопоглощение:

- **При 23 °С**
Образцы помещают в сосуд с дистиллированной водой при температуре 23 °С. Через 24 часа образцы осушают и взвешивают.
- **При 100 °С**
Образцы помещают в кипящую воду на 30 мин, охлаждают в течение 15 мин в воде при температуре 23 ° и снова взвешивают.
- **До насыщения**
Образцы погружают в воду при температуре 23 °С до их полного насыщения водой.

Водопоглощение можно выразить как:

- массу поглощенной воды,
- массу поглощенной воды на единицу площади поверхности,
- процент поглощенной воды по отношению к массе испытываемого образца.

9. Реологические испытания

Усадка при формовании ISO 2577 (ASTM D955)

Усадка при формовании представляет собой разность между размерами формы и формованной детали, полученной в этой форме. Она регистрируется в % или в миллиметрах на миллиметр.

Значения усадки при формовании регистрируются как параллельно течению материала ("в направлении течения"), так и перпендикулярно течению ("в направлении, поперечном течению"). Для стекловолоконных материалов эти значения могут значительно отличаться. Усадка при формовании может также изменяться и от других параметров: например, конструкции детали, конструкции формы, температуры формы, удельного давления впрыска и времени цикла формования.

Значения усадки при формовании (при измерении на простых деталях типа образца для испытаний на разрыв или диска) являются только типовыми данными для выбора материала. Их нельзя применять к конструкциям деталей или инструмента.

Скорость течения расплава/Индекс расплава ISO 1133 (DIN 53735, ASTM D 1238, ГОСТ11645)

При испытаниях на скорость течения расплава (MFR) или индекс расплава (MFI) измеряют течение расплавленного полимера через выдавливающий пластометр при заданных условиях температуры и нагрузки. Выдавливающий пластометр состоит из вертикального цилиндра с небольшой головкой диаметром 2 мм в нижней части и съемного поршня в верхней части. Заряд материала помещают в цилиндр и предварительно нагревают в течении нескольких минут. Поршень устанавливают на верхнюю поверхность расплавленного полимера, и его вес продавливает полимер через головку на сборную плиту. Период времени испытаний изменяется от 15 с до 6 мин в зависимости от вязкости пластиков. Используемые значения температуры: 220, 250 и 300 °С. Массы прилагаемых нагрузок составляют 1,2, 5 и 10 кг.

Количество полимера, собранного после заданного периода испытаний, взвешивают и пересчитывают в количество граммов, которое могло быть выдавлено через 10 мин. Скорость течения расплава выражают в граммах на эталонное время.

Пример: MFR (220/10)=xx г/10 мин - означает скорость течения расплава при испытательной температуре 220 °С и массе номинальной нагрузки 10 кг.



Лабораторный прибор для измерения индекса расплава фирмы ЧЕАСТ, модель MFQ1.

Скорость течения расплава полимеров зависит от скорости сдвига. Скорости сдвига при этих испытаниях значительно меньше скоростей, используемых в нормальных условиях изготовления. Поэтому данные, полученные этим методом, могут не всегда соответствовать их свойствам при фактическом использовании.

Объемный расход расплава/Объемный индекс расплава ISO 1133 (DIN 53735, ASTM D 1238)

В стандарте DIN 53735 описаны три метода измерения течения:

- "Verfahren A" и
- "Verfahren B", включающий, в свою очередь, два метода:
 - "Mebprinzip 1" и
 - "Mebprinzip 2".

Метод Verfahren A заключается в измерении массы при выдавливании пластика через заданную головку. Метод Verfahren B заключается в измерении перемещения поршня и плотности материала при подобных условиях.

По методу Verfahren B/Mebprinzip 1 измеряют **расстояние**, на которое перемещается поршень.

По методу Verfahren B/Mebprinzip 2 измеряют **время**, в течение которого перемещается поршень.

Подводя итогу по этим методам, можно сказать, что индекс течения по Verfahren A стандарта DIN 53735 равен скорости течения MFR по стандарту ISO 1133.

В верхней части описания этих различных методов в стандарте DIN 53735 описан объемный индекс течения (MVI). (В стандарте ISO 1133 индекс MVI не упоминается.) Индекс MVI определяют как объем пластика, который выдавливается через головку в течении заданного времени. Индекс MFI определяют как массу пластика, выдавливаемого через головку в течении заданного времени. Индекс MVI выражается в см³/10 мин, а индекс MFI в г/10 мин. Используемые значения температуры равны 220, 250, 260, 265, 280, 300, 320 и 360 °С. Масса используемых грузов - 1.2; 2.16; 3.8; 5; 10 и 21 кг.

Пример: MVI (250/5) означает объемный индекс течения в см³/10 мин для испытательной температуры 250 °С и номинальной массы груза 5 кг.



*Прибор для определения ПТР по методу А и В фирмы ЧЕАСТ.
Нагрузка может меняться во время испытания.*

Вязкость расплава DIN 54811

Свойства расплава определяют в капиллярном вискозиметре. Измеряют либо давление при заданном объемном расходе потока и данной температуре, либо объемный расход потока при данном давлении. Вязкость расплава (MV) представляет собой коэффициент фактического напряжения сдвига t и фактического напряжения сдвига f . Она выражается в Па[•]с.

Практическое применение характеристик MV, MFR/MFI, MVI в производстве

Метод MV с измерением в капиллярном вискозиметре имеет большое сходство с нормальным процессом экструзии. Как таковой, метод MV является хорошей основой для сравнения течения материалов, отливаемых под давлением: он представляет вязкость при прохождении расплава через насадку. Методы MFR/MFI и MVI, при которых скорость сдвига слишком мала, не пригодны к использованию в процессе литья под давлением. Они являются хорошими справочными сведениями для контроля изготовителем и переработчиком, получаемыми легко, быстро и недорого, но не годятся для выбора материала с точки зрения его ожидаемого течения при формовании.



Капиллярный вискозиметр фирмы ЧЕАСТ