

Окончание табл. 3.2

Пластмасса	Значения коэффициента теплопроводности (в ВТУ/дюйм/час/фут ² /F)
Полипропилена	0,27–0,43
Полистирола	0,17–0,26
Полиуретанов	0,11–0,52
Силиконов	0,36
Сополимера стирола с акрилонитрилом	0,29–0,32

Из *Handbook of Plastics and Elastomers*. Воспроизведено с разрешения *McGraw Book Company*

3.4 Тепловое расширение

Коэффициент теплового (термического) расширения — это относительное измерение длины образца или объема материала, отнесенное к единице температурной шкалы. Значения коэффициента теплового расширения представляют значительный интерес для инженеров-проектировщиков изделий из пластмасс. Пластмассы расширяются или сжимаются в зависимости от температуры в 6–9 раз сильнее, чем металлы. Различие в коэффициентах расширения контактирующих материалов приводит к развитию внутренних напряжений и преждевременному разрушению изделий. Для того чтобы устранить этот эффект часто используют специальные соединительные узлы в виде резиновых муфт.

Введение в полимер наполнителей, таких, как например, стеклянных волокон, приводит к значительному снижению коэффициентов термического расширения, сближая эти характеристики пластмасс с показателями аналогичных свойств металлов и керамики.

ASTM разработал два схожих метода для измерения коэффициентов термического расширения — коэффициентов линейного расширения (*ASTM D696*) и объемного расширения (*ASTM D864*), соответственно. В технических журналах и справочниках обычно приводятся значения линейного коэффициента термического расширения.

3.4.1 Коэффициент линейного теплового расширения

Для измерения изменений длины образцов рекомендуется использовать dilatометр, изготовленный из плавленого кварца, а отсчет длины проводят с помощью датчика с соответствующей шкалой или линейного дифференциального трансформатора. Для регулирования температуры применяют жидкостную баню. На рис. 3.11 показана схема линейного dilatометра с кварцевой трубкой.

Испытания состоят в том, что предварительно выдержанный в требуемых условиях образец, длины которого обычно составляет 2 или 5 дюймов, помещают в dilatометр. Затем dilatометр с датчиком длины погружают в жидкостную баню. Температура жидкости регулируется по заданной программе. Фиксируются

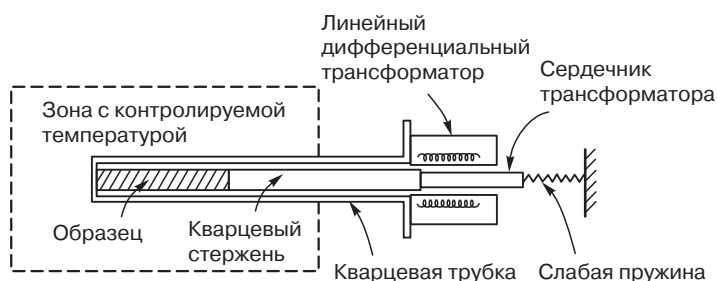


Рис. 3.11. Схематическое изображение дилатометра с кварцевой трубкой (воспроизведено с разрешения *McGraw-Hill Book Company*)

изменения длины в зависимости от температуры. Коэффициент линейного теплового расширения рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T}$$

где X — коэффициент линейного теплового расширения (в $^{\circ}\text{C}$); ΔL — изменение длины образца при нагревании или охлаждении; L_0 — длина образца при комнатной температуре; ΔT — разность температур ($^{\circ}\text{C}$), для которой измеряется изменение длины образца.

В табл. 3.3 собраны значения коэффициентов теплового расширения некоторых пластмасс.

Таблица 3.3. Сопоставление коэффициентов теплового расширения для ряда пластмасс

Полимер	Коэффициент теплового расширения 10^{-5} , см/ см/ $^{\circ}\text{F}$
Полиэфир (с низкой усадкой)	0,366–0,605
Полиэфир (со стеклонаполнителем)	0,44–1,14
Фенольформальдегидная смола (наполненная асбестом)	0,44–2,22
Силикон (со стеклянным наполнителем)	0,443
Меламиновая смола (наполненная фенольной смолой)	0,555–2,22
Диаллилфталат (стеклонаполненный)	0,555–2,0
Фенольная смола (армированная тканью и кордом)	0,555–2,22
Диаллилфталат (с минеральным наполнителем)	0,555–2,33
Эпоксидная смола (стеклонаполненная)	0,610–1,94
Полиэфир (с ровингом)	0,66–2,78
Полиамид 610 (с 20–40% стеклонаполнителя)	0,666–1,78
Меламиновая смола (стеклонаполненная)	0,83–1,10
Полиамид 66 (с 30% стеклонаполнителя)	0,83–1,11
Полиэфиралкидные гранулированные смолы типа шпатлевки (со стеклонаполнителем)	0,83–1,39
Полиэфирные смолы, армированные тканью	0,83–1,66

продолжение табл. 3.3

Полимер	Коэффициент теплового расширения 10^{-5} , см/ см/°F
Фенольные смолы (наполненные отходами бутадиен–акрилонитрильного сополимера и очесами)	0,83–1,94
Фенольные смолы (наполненные слюдой)	1,00–1,44
Меламиновые смолы (с тканевым наполнителем, модифицированные фенольной смолой)	1,00–1,55
Сополимер стирола с акрилонитрилом	1,00–2,50
Полиэфир (литьевая композиция для листов)	1,11
Полиэфиры (премиксы со стеклянной крошкой)	1,11–1,83
Кремнийорганические смолы (с минеральным наполнителем)	1,11–2,22
Меламиновые смолы (с асбестом)	1,11–2,50
Полиэфиралкидные гранулированные смолы типа шпатлевки (с минеральным наполнителем)	1,11–2,78
Эпоксидные смолы (с минеральным наполнителем)	1,11–2,78
Фенольные смолы (наполненные отходами бутадиен–акрилонитрильного сополимера)	1,16
Полифениленоксид (модифицированный, с 20–30% стеклонаполнителя)	1,22
Мочевно–формальдегидные смолы	1,22–2,00
Полиэфиры (с 18% стекловолокна)	1,39
Меламиновые смолы (армированные тканью)	1,39–1,55
Сополимер стирола с акрилонитрилом (стеклонаполненный)	1,50–2,11
Полипропилен (с инертным наполнителем)	1,61
АБС-пластик (с 20–40% стеклонаполнителя)	1,61–2,00
Полипропилен (стеклонаполненный)	1,66–2,88
Фенол-формальдегидная смола (наполненная опилками)	1,66–2,50
Эпоксидные смолы с инкапсулированным стеклом	1,66–2,78
Эпоксидные смолы с инкапсулированным минеральным наполнителем	1,66–3,33
Полиэфиралкидные гранулированные смолы типа шпатлевки (с синтетическими волокнами)	1,67–3,06
Полиамид 6 (стеклонаполненный)	1,83
Полиамид 11 (стеклонаполненный)	1,78
Полистиролы (обычные и ударопрочные)	1,88–11,70
Поликарбонат (с 10% стекловолокна)	1,90
Сополимер стирола с акрилонитрилом	2,00–2,11
Полиацеталь (с 20% стеклонаполнителя)	2,00–4,50
Полифенилен (с 40% стеклонаполнителя)	2,22
Фенольные смолы (наполненные отходами	2,22

продолжение табл. 3.3

Полимер	Коэффициент теплового расширения 10^{-5} , см/ см/°F
бутадиен-акрилонитрильного сополимера и асбестом)	
Ароматические полиамиды	2,22–2,78
Полихлортрифторэтилен (CTFE)	2,50–3,90
Меламиновые смолы (наполненные целлюлозой)	2,22
Меламиновые смолы, наполненные целлюлозой	2,50
Полиарилсульфон	2,62
Жесткий поливинилхлорид	2,77–10,30
Полиакриаты	2,78–5,00
Полифениленоксид (модифицированный, ненаполненный)	2,89
Полисульфид	2,89–3,11
Полифенилен (с 25%асбеста)	2,94
Фенокси-смолы	3,00–3,20
Диаллилфталат(наполненный синтетическими волокнами)	3,00–3,33
Полифениленсульфид (ненаполненный)	3,05
Полипропилен (немодифицированный)	3,22–5,66
Полистирол (химически модифицированный, теплостойкий)	3,33
Полиэфир (термопластичный)	3,33
АБС-пластик (теплостойкий)	3,33–5,00
Полистирол (общего назначения)	3,33–4,44
Полиакрилаты (ударопрочные)	3,33–4,44
Полипропилен (ударопрочный, модифицированный каучуком)	3,33–4,73
Полиакриловые сополимеры	3,33–5,00
Сплав АБС-пластика и поликарбоната	3,44–4,72
Полиарилат	3,61
Поликарбонат (ненаполненный)	3,64
ПВХ-пластикат (ненаполненный)	3,86–13,90
Полиамид 12 (стеклонаполненный)	4,16
Полиамид 66	4,44
Хлорированный полиэфир	4,44
Полиацеталь (гомополимер)	4,50
АБС-пластик (с обычной ударной прочностью)	4,45–5,55
Нитрат целлюлозы	4,44–6,66
Полиацетали (сополимеры)	4,72
Сополимеры пропилена	4,44–5,27
Полиалломер	4,60–5,55

окончание табл. 3.3

Полимер	Коэффициент теплового расширения 10^{-5} , см/ см/°F
Полиамид 6	4,60
Политерафторэтилен (TFE)	4,60–5,80
Ацетат целлюлозы	4,44–10,00
Полиамид 610	5,00
АБС-пластик (ударопрочный)	5,27–7,22
Полиэтилены (сшитые)	5,55–11,94
Этилцеллюлоза	5,55–11,10
Полиэтилен низкой плотности	5,55–11,10
Полиуретановые эластомеры	5,55–11,10
Полифторуглероды (FEP)	5,60
Полиамид 12	5,78
Полиэтилены высокой плотности	6,10–7,22
Пропионат целлюлозы	6,11–9,44
Ацетат-бутират целлюлозы	6,11–9,44
Полиметилпентен	6,50
Иономеры	6,66
Поливинилиденфторид (VF2)	6,70
Бутадиен-стирольный термопластичный эластомер	7,22–7,60
Полиэтилен средней плотности	7,77–8,89
Полибутилен	8,32
Полиамид 11	8,33
Сополимер этилена с винилацетатом	8,88–11,10
Сополимер этилена с этилакрилатом	8,88–13,80
Полиэтилентерефталат	4,90–13,00

Из *Handbook of Plastics and Elastomers*. Воспроизведено с разрешения McGraw Book Company

3.5 Температура хрупкости (ASTM D746 и ISO 974)

При понижении температуры все пластмассы становятся жесткими и хрупкими. Основная причина этого явления заключается в том, что при низких температурах молекулярная подвижность резко понижена. В случае аморфных полимеров хрупкое разрушение наблюдается в области температур, лежащей много ниже области стеклования. Однако возрастание жесткости происходит уже при приближении к температуре стеклования. В случае же частично кристаллических полимеров жесткость определяется, в основном, степенью кристалличности полимера, поскольку кристаллизация подавляет молекулярную подвижность и лишь незначительно влияет на ударную прочность. Определенную роль в сопротивлении ударным нагрузкам играют размеры кристаллических образований. Чем больше их размеры, тем ниже ударная прочность. Чем в большей мере проявляется пластичность при разрушении,

тем выше наблюдаемые пластические деформации, измеряемые при растяжении полимерных образцов.

Под температурой хрупкости понимается такая температуры. При которой пластмассы и эластомеры разрушаются хрупко под действием ударной нагрузки. Другой способ определения этого понятия состоит в том, что температурой хрупкости называют температуру, при которой в выбранных условиях ударного нагружения хрупко разрушаются 50% от общего числа испытанных образцов.

3.5.1 Измерительная аппаратура и методика

Испытательная аппаратура состоит из устройства для установки образцов и приспособления для нанесения по ним удара. Образцы жестко закрепляются в зажимах, образуя консоли. Типичный пример устройства для крепления образцов показан на рис. 3.12. Наиболее часто для определения температуры хрупкости используют приборы с механическим приводом, как это показано на рис. 3.13. Такой прибор снабжен ударником, который вращается с постоянной скоростью $6,5 \pm 0,5$ фут/с. Для создания требуемой температуры используют термоизолированную емкость со встроенной мешалкой, что позволяет поддерживать равномерную температуру. Для поддержания заданной температуры может использоваться любая среда, которая остается жидкой в исследуемом интервале температур.

Образцы обычно штампуют из листовой заготовки. Типичный размеры образцов таковы: длина 1 дюйм, ширина 0,25 дюйма, толщина 0,075 дюйма. Перед испытаниями образцы кондиционируют в соответствии с обычными требованиями подготовки образцов.

Испытания состоят в том, что образцы надежно устанавливают в зажимах. Затем вся установка в сборе помещается в охлаждающую среду. После выдержки в этой среде в течение заданного времени при выбранной температуре испытаний ударник приводится во вращение, и наносится единичный удар по образцу. Далее тщательно анализируется характер разрушения каждого образца. Под разрушением понимается разделение образца на две или более отдельных частей, или же образование трещины, отчетливо видимой невооруженным глазом.

В процессе испытаний температуру ступенчато повышают на 2 или 5 °C для каждого эксперимента, и затем испытания повторяют. Испытания в таком порядке продолжаются, пока не будет четко определена температура, разграничивающая характер разрушения на хрупкий и нехрупкий.

Определяется доля от общего количества испытанных образцов, разрушенных хрупко при каждой температуре. Температура хрупкости рассчитывается по формуле:

$$T_b = T_h + \Delta T \left(\frac{S}{100} - \frac{1}{2} \right)$$

где T_b — температура хрупкости (°C); T_h — максимальная температура, при которой хрупко разрушаются все образцы (°C); ΔT — инкремент температуры (°C); S — доля образцов (в процентах), разрушаемая при данной температуре испытаний.

Температура хрупкости играет весьма незначительную роль при выборе материала, поскольку ее значения, получаемые при использованном методе испытаний, отражают действительное поведение материала только в условиях, аналогичных тем, при которых проводились испытания. Тем не менее, определение температуры хрупкости по согласованной методике может применяться при спецификации материала, контроле качества, а также при исследовательских работах.

Литература

1. Deanin R.D., *Polymer Structure Properties and Applications*, Cahnners, Boston, MA, 1972, p. 238.
2. *Ibid.*, p. 273.
3. *Symp. on Plastics Testing—Present and Future*, ASTM Publication No. 132, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa., 1953, p. 16.
4. "Design Guide," *Modern Plastics Encyclopedia*, McGraw-Hill, New York, 1980-81, p. 49.
5. Nielson L.E., *Mechanical Properties of Polymers*, Reinhold, New York, 1962, pp. 138-196.
6. Baer E. *Engineering Design for Plastics*, Reinhold, New York, 1964, p. 185.
7. Miller R.W., "Considerations in the Evaluation of Plastics in Electrical Equipment," *Plast. Design and Processing* (July 1980), pp. 25-30.
8. Reymers H., "A New Temperature Index, Who Needs It, What does it Tell," *Modern Plastics* (March 1970), p. 79.
9. *Underwriters Laboratories Publication*, "Polymeric Materials—Long Term Property Evaluations," UL746B.
10. *Modern Plastics Encyclopedia*, Reference 4, p. 492.
11. Ives G.C, Mead J.A., and Riley M.M., *Handbook of Plastics Test Methods*, Iliffe Books, London, England, 1971, p. 335.
12. Deanin, Reference 1, p. 379.
13. Baer, Reference 6, p. 1025.

Рекомендуемые источники

Carlsaw H.S. and Jaeger J.C, *Conduction of Heat in Solids*. Oxford University Press, Oxford, England, 1959.

Jakob M., *Heat Transfer*. Vols. I and II. Wiley, New York, 1949, 1957.

McAdams W.H., *Heat Transmission*, McGraw-Hill, New York, 1954.