

ТРУБНАЯ МАРКА ПОЛИЭТИЛЕНА ПЭ 100. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ И ИХ РАЗВИТИЕ

Мирон Горюловский
Игорь Гвоздев

В течение длительного времени полагали, что потеря сплошности материала (разрыв или скол) наступает тогда, когда напряжение достигает некоторого критического значения, и что при меньших напряжениях разрушения не происходит.

В настоящее время установлено, что представление о критическом характере процесса разрушения является неверным, так как все материалы при длительном воздействии внешних сил разрушаются при напряжениях, величина которых значительно меньше, чем при быстром воздействии силы. Это означает, что величина сопротивления разрыву зависит от времени действия силы. Время от момента приложения силы до момента разрыва называется долговечностью материала [1].

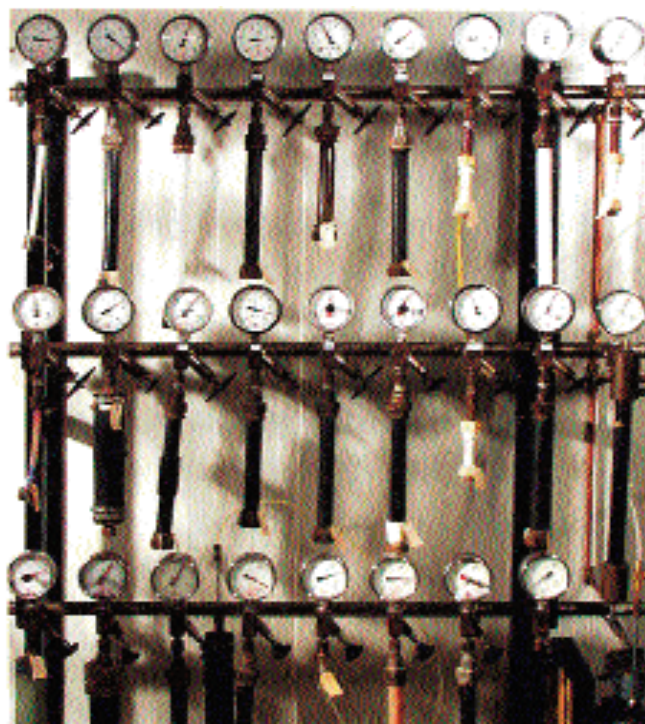
В пятидесятых годах прошлого века немецкими исследователями (фирма Hoechst AG) была подтверждена временная зависимость прочности полимерных материалов на примере труб и предложен метод оценки длительной прочности полимерных труб, основанный на зависимости времени разрушения от напряжения в стенке трубы, вызываемого внутренним давлением воды в испытываемом образце.

На рис. 1 показан стенд, созданный в 1956 году и положивший начало проведению указанных испытаний. Ряд трубных образцов на этом стенде находятся под давлением уже более 50 лет.

Дальнейшее развитие этого метода привело к созданию Международного Стандарта ИСО 9080 «Пластмассовые трубы и трубопроводы – Определение длительной гидростатической прочности термопластичных материалов в форме труб путем экстраполяции» [2].

В соответствии с указанным стандартом образцы труб при различных температурах нагружают внутренним давлением с фиксацией возникающего напряжения и времени до их разрушения. Стандарт устанавливает требования к количеству испытываемых образцов, предельным значениям температур испытания, диапазонам напряжений и распределе-

Рис. 1



нию получаемых времен разрушения образцов. При этом максимальное время разрушения хотя бы одного образца должно превышать 9000 часов для каждой температуры испытания. Стандартом предписан способ статистической обработки данных и правила их экстраполяции на требуемый срок службы.

В результате проведенных испытаний и их статистической обработки должны быть получены:

- 1) уравнения длительной прочности вида:

$$\lg t = C1 + C2/T + C3 (\lg \sigma) + C4(\lg \sigma)/T, \quad (1)$$

где t – время разрушения, час;

T – температура, °K;

σ – кольцевое напряжение, МПа;

$C1 - C4$ – коэффициенты уравнения.

- 2) среднее значение длительной гидростатической прочности $\sigma_{LTHS}(\text{Mean})$ для заданной температуры и времени;

- 3) нижний доверительный предел длительной гидростатической прочности $\sigma_{LPL} = \sigma(T, t, 0,975)$ с 97,5% уровнем вероятности при заданной температуре T и времени экстраполяции t .

Пример результатов испытаний полиэтилена марки CRP 100, выполненных фирмой Boudycote, показан на рис. 2. На основе статистической обработки полученных данных рассчитаны значение $\sigma_{LTHS}(\text{Mean})$, равное 11,3 МПа, и значение σ_{LPL} для температуры 20°C и срока службы 100 лет, равное 10,9 МПа.

Полученное значение σ_{LPL} используется для определения длительной прочности трубной марки поли-

мера и ее классификации по **MRS – минимальной длительной прочности**.

Классификация по MRS осуществляется по стандарту ИСО 12162:1995 [3] и аналогичному Межгосударственному стандарту ГОСТ ИСО 12162-2006 [4]. Пример классификации показан в таблице 1, являющейся выдержкой из указанных стандартов.

Установленные для испытываемой марки полимера значения MRS применяются для расчета максимального рабочего давления (MOP) всех типоразмеров труб, изготовленных из классифицированного полимера, по формуле (2).

$$MOP = (SDR-1)C \quad (2)$$

где SDR – стандартизованное отношение размеров труб (наружного диаметра к толщине стенки),

C – коэффициент запаса прочности, зависящий от типа полимера и назначения трубопровода (например, для водопроводов из полиэтиленовых труб $C=1,25$, а для газопроводов $C \geq 2,0$).

Стандарты [2-4] в первую очередь используются для оценки и классификации вновь разрабатываемых трубных марок полимеров. В то же время, получаемое уравнение (1), описывающее связь между параметрами эксплуатации, используют для расчета допустимых напряжений и эксплуатационных параметров трубопроводов, работающих при переменных температурах. Такие расчеты проводятся в соответствии с Международным Стандартом ИСО 13760:1998 [5], так называемым правилом

Рис. 2

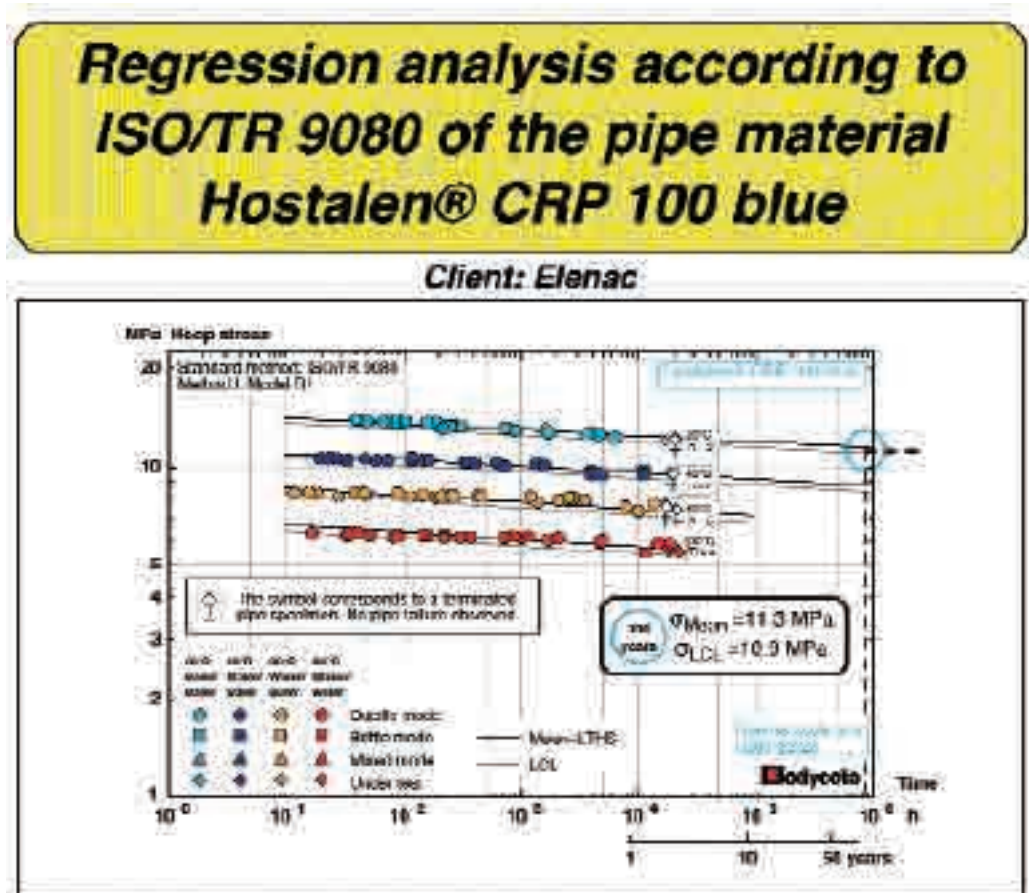


Таблица 1

Интервал нижнего доверительного предела σ_{LPL} , МПа	Минимальная длительная прочность MRS, МПа	Классификационный номер
$6,3 \leq \sigma_{LPL} < 7,99$	6,3	63
$8 \leq \sigma_{LPL} < 9,99$	8,0	80
$10 \leq \sigma_{LPL} < 11,19$	10,0	100
$11,2 \leq \sigma_{LPL} < 12,49$	11,2	112

Майнера, основанным на учете накопленных повреждений.

Рассмотренный показатель длительной прочности является первоочередной характеристикой трубных марок полимеров и в том числе полиэтилена. На его основе производится расчет рабочего давления трубопроводов. Установленные контрольные режимы испытания на стойкость к внутреннему давлению, предусмотренные в нормативной документации [6, 7, 8] и [9] на изготавливаемые трубы, также основаны на уравнениях длительной прочности.

Однако помимо указанных требований по стойкости к внутреннему давлению трубы из полиэтилена, в первую очередь, трубы для газопроводов, контролируются по ряду дополнительных показателей, зависящих в значительной степени от свойств использованного полиэтилена. К ним относятся:

– стойкость к медленному распространению трещин, характеризующая стойкость полиэтилена к растрескиванию под воздействием напряжения и способность труб противостоять концентрации напряжений, возникающих, например, при местных сосредоточенных деформациях стенок трубы. Такие требования и методы испытания предусмотрены в стандартах [6, 7, 8, 9, 10, 11].

Для проведения этих испытаний на трубном образце наносится четыре надреза глубиной, составляющей около 20% от толщины стенки (рис. 3). Подготовленный таким образом образец трубы подвергается испытанию внутренним давлением при температуре 80°C в течение заданного контрольного времени.

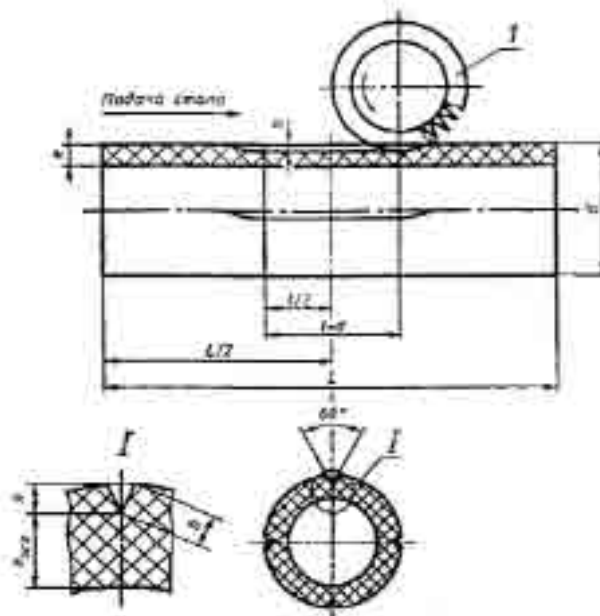
– стойкость к быстрому распространению трещин для труб, главным образом, работающих под давлением газообразных сред. Определение этого показателя предусмотрено стандартами [7, 9] и [13]. Испытание проводится на установке, схема которой показана на рис. 4. В охлажденный до 0°C образец подается испытательное давление, и по нему наносится удар бойком, проникающим на всю толщину стенки трубы и инициирующим образование продольной трещины. За результат испытания – критическое давление P_C – принимается максимальное давление, при котором трещина не распространяется на длину более 4,7 наружных диаметров трубы.

В 1999 году была основана «Ассоциация ПЭ 100+», объединяющая ряд промышленных производителей полиэтилена третьего поколения – ПЭ 100 – и известных в Европе лабораторий, аккредитованных в области испытания труб и полимеров. Основные задачи, которые ставит перед собой Ассоциация, – это постоянное наблюдение за качеством выпускаемого ПЭ 100, объективная оценка свойств трубной марки полимера, гарантия высокого уровня технических характеристик и стабильности производства для признанных Ассоциацией марок ПЭ 100+.

Цель «Ассоциации ПЭ 100+» – обоснованно установить для вышеперечисленных свойств полиэтилена ПЭ 100 более высокие требования по сравнению с предусмотренными стандартами ISO и EN, что увеличивает надежность эксплуатации трубопроводов.

Рис. 3. Схема испытаний на стойкость к медленному распространению трещин.

d – наружный диаметр рубы; e – толщина стенки трубы; $e_{ост}$ – остаточная толщина стенки трубы; J – длина надреза; L – свободная длина образца по ГОСТ 24157; b – ширина надреза; p – глубина надреза; l – двусторонняя фреза с зубьями под углом 60°



На период до февраля 2009 года «Ассоциацией ПЭ 100+» установлены нижеперечисленные требования к полиэтилену ПЭ100+:

Свойства	Метод и параметры испытаний	Требования стандартов ISO и EN	Требования «Ассоциации ПЭ 100+»
Стойкость к внутреннему давлению	ISO 1167 (аналог ГОСТ 24157) При 20°C, напряжение 12,4 МПа	≥100 часов	≥ 200 часов
Стойкость к медленному распространению трещин	ISO 13479 (аналог ГОСТ Р 50838) При 80°C и давлении 9,2 бар	≥165 часов	≥500 часов
Стойкость к распространению трещин	ISO 13477 быстрому (аналог ГОСТ Р 50838) Испытание при 0°C	$P_c \geq MOP / 2,4 - 0,72$ бар	≥10 бар

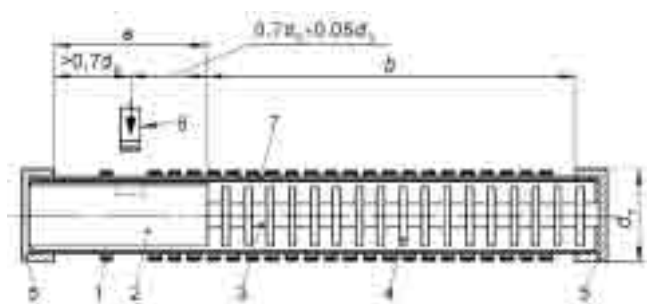
Ряд фирм, производящих полиэтилен, получили свидетельство «Ассоциации ПЭ 100+» о соответствии выпускаемых марок указанным требованиям и классификации полиэтилена, как ПЭ 100+.

Число фирм и выпускаемых ими марок полиэтилена ПЭ 100+ постоянно возрастает. Если на начало 2001 года такое разрешение имели только четыре фирмы на четыре марки трубного полиэтилена, то в конце 2001 года их стало уже пять, количество марок возросло до десяти. По состоянию на 2008 год свидетельство имеют 8 фирм на 17 марок полиэтилена. Конкретный перечень фирм и марок полиэтилена можно найти на сайте Ассоциации.

Мы надеемся, что представленная информация поможет производителям труб технически правильно, с точки зрения надежности эксплуатационных свойств трубопроводов, подходить к выбору марок

Рис. 4. Схема испытаний на стойкость к быстрому распространению трещин.

a – зона инициирования; b – зона измерения > 5dn;
 1 – кольца наружной обоймы; 2 – наковальня;
 3 – несущий стержень; 4 – декомпрессионные перегородки; 5 – заглушки; 6 – боек;
 7 – испытуемый образец



полиэтилена, в первую очередь, для труб больших диаметров, предназначенных для эксплуатации при высоких давлениях и для ответственных применений.

Библиография

1. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. – М.: Госхимиздат, 1963.
2. ISO 9080:2003 – Plastic piping and ducting systems – Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation.
3. ISO 12162:1995 – Thermoplastics materials for pipes and fittings for pressure application – Classification and designation – Overall service (design) coefficient.
4. ГОСТ ИСО 12162-2006. Материалы термопластичные для напорных труб и соединительных деталей. Классификация и обозначение. Коэффициент запаса прочности.
5. ISO 13760:1998 – Plastics pipes for conveyance of fluids under pressure – Miner’s rule – Calculation method for cumulative damage.
6. ГОСТ 18599-2001. Трубы напорные из полиэтилена.
7. ГОСТ Р 50838-1995. Трубы из полиэтилена для газопроводов.
8. ISO 4427 – Polyethylene (PE) pipes and fittings for water supply.
9. ISO 4437 – Buried polyethylene (PE) pipes for supply of gaseous fuels.
10. ISO 13479 – Determination of resistance to crack propagation – Test method for slow growth on notched pipes (notch test).
11. ISO 13480 – Resistance to slow crack growth – Cone test method.
12. ISO 13477 – Determination of resistance to crack propagation (RCP) – Small-scale steady test (S4 test).