

К РАСЧЕТУ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АРМИРОВАННЫХ ТРУБ

Игорь Гвоздев, Сергей Шаляпин
НТЦ «Пластик»

В течение длительного времени полагали, что потеря сплошности материала наступает тогда, только когда напряжение достигает некоторого критического значения.

В настоящее время установлено, что представление о критическом характере процесса разрушения – неверно, так как все материалы при длительном воздействии внешних сил разрушаются при напряжениях, величина которых значительно меньше, чем при быстром воздействии силы.

А.А. Тагер «Физико-химия полимеров», Москва, 1963 г.

Отсутствие обоснованных методов прочностного расчета и эксплуатационных характеристик армированных труб приводит к тому, что зачастую используются методы, не учитывающие температурно-временные зависимости прочности. Примером может служить расчет рабочего давления на основе разрывного давления и произвольно назначенных коэффициентов запаса прочности.

В настоящей работе предложен метод определения температурно-временной зависимости прочности армированных труб, основанный на общепринятых, предписанных международными стандартами для напорных полимерных труб принципах.

Для расчета рабочего давления однослойных полимерных труб используется известное уравнение (1) расчета давления для толстостенных сосудов [1]:

$$P = \frac{2 \cdot e}{(D_H - e)} \cdot [\sigma] \quad (1),$$

где D_H – наружный диаметр трубы, e – минимальная толщина стенки, P – внутреннее давление в трубе, $[\sigma]$ – допускаемое напряжение.

В принятой для напорных полимерных труб системе стандартизации размеров формула (1) может быть преобразована с использованием так называемого «стандартного соотношения размеров SDR», равного D_H/e :

$$P = \frac{2}{(SDR - 1)} \cdot [\sigma] \quad (2),$$

где первый множитель правой части уравнения представляет собой чисто геометрические размеры трубы, второй – допускаемое напряжение как прочностную характеристику материала, из которого она изготовлена.

Определение допускаемого напряжения осуществляется по Международному стандарту ИСО 9080 «Трубы из термопластов. Определение длительной гидростатической прочности на образцах труб путем экстраполяции» [2] (в этом году выходит аналогичный Национальный российский стандарт). В соответствии с этим стандартом проводятся длительные гидростатические испытания как минимум 90 образцов при трех различных температурах, длительностью не менее 9000 часов. Полученное уравнение длительной прочности в виде зависимости $T = f(T, \sigma)$ позволяет производить экстраполяцию величин прочности на 50 лет. Эта величина прочности носит название «Минимальное значение прочности» и обозначается как MRS. Используя для различных трубопроводов (водопроводы, газопроводы) принятые коэффициенты запаса прочности (C), получают допускаемое напряжение [3]:

$$[\sigma] = MRS / C \quad (3)$$

Необходимо особо подчеркнуть, что испытания проводятся на трубных образцах, нагружаемых внутренним давлением. То есть не используется простой, менее дорогостоящий метод нагружения стандартных образцов (лопаток) одноосным растягивающим усилием с получением временной зависимости прочности полимера. Не-

обходимость испытания трубных образцов вызвана дополнительным воздействием на полимер в процессе переработки, возможностью появления анизотропии свойств полимера и, самое главное, появлением остаточных (внутренних) напряжений в трубе, что в совокупности оказывает влияние на длительную прочность полимера.

Таким образом, рабочее давление определяется двумя параметрами: геометрией трубы и длительной прочностью материала, из которого она изготовлена.

В случае с многослойной армированной трубой сам принцип определения рабочего давления остается тем же самым. Поскольку практически всю основную нагрузку под действием внутреннего рабочего давления воспринимает на себя армирующий каркас, то необходимо оценить длительную прочность материала, работающего в армирующей системе. В качестве примера рассмотрим конструкцию трубы ДЖИ-ПЕКС с армировкой нитями из арамидного волокна.

Давление, которое выдержит армирующая система, определяется следующим уравнением [4]:

$$P = \frac{2 \cdot n \cdot \sin \varphi}{D \cdot L} \cdot R \quad (4)$$

где φ – угол намотки нитей к оси трубы, n – общее количество нитей в двух слоях, уложенных во взаимно противоположных направлениях, D – диаметр намотки, мм, L – шаг нити, мм, R – нагрузка, которую должна выдерживать нить при заданных режимах эксплуатации.

Нагрузка, которую должна выдержать нить, равна произведению допускаемого напряжения $[\sigma_H]$ на площадь сечения нити A :

$$R = [\sigma_H] \cdot A \quad (5)$$

Для удобства при расчете площади сечения нити целесообразно использовать общепринятую характеристику размеров нити – текс.

$$A = \frac{LD}{\rho} \cdot 10^{-3} \quad (6)$$

где ρ – плотность нити, г/см³, LD – линейная плотность нити, текс (кг/1000 м).

Подставив выражения (5) и (6) в выражение (4), получим:

$$P_{разр} = \left[\frac{2 \cdot n \cdot \sin \varphi}{D \cdot L} \cdot \frac{LD \cdot 10^{-3}}{\rho} \right] \cdot [\sigma_H] = Z \cdot [\sigma_H] \quad (7)$$

Из уравнения (7) видно, что давление, как и для однослойных труб, определяется двумя параметрами: гео-

метрией армировки (первый член произведения в правой части уравнения) и прочностью материала, из которого изготовлен армирующий каркас (второй член произведения в правой части уравнения). В случае применения одного материала для нитей с одинаковой плотностью ρ , но с различной линейной плотностью нити LD , определяемой диаметром трубы, выражение (7) упрощается. В этом случае Z является геометрическим параметром трубы и армировки, а $[\sigma_H]$ – допускаемым напряжением нити, способной выдерживать условия эксплуатации: давление в трубе при требуемой температуре и времени службы. Полная аналогия с формулой (2).

Понятно, что в случае армированных труб становится абсолютно необходимым определять температурно-временную зависимость прочности путем испытания труб, а не нитей, поскольку армирующая конструкция вносит гораздо больший вклад в прочность трубы, чем влияние переработки при производстве однослойной трубы.

Для арамидного волокна характерна ярко выраженная температурно-временная зависимость длительной прочности, поэтому для прогнозирования работоспособности армированных труб на заданный срок и при различных температурах эксплуатации необходимо применять тот же подход, что и для оценки длительной прочности материалов, применяемых для однослойных труб. Т. е. сначала необходимо определить температурно-временную зависимость прочности волокна, работающего в армирующей системе, по методике испытания трубных образцов, аналогичной предписанной международным стандартом ИСО 9080 (гидростатические испытания как минимум 90 образцов при трех различных температурах, длительностью не менее 9000 часов), а затем уже рассчитать геометрию армировки. Полученные температурно-временные зависимости прочности позволят рассчитывать трубы как для постоянных режимов эксплуатации, так и для переменных температур с использованием правила Майнера [3].

Список литературы:

1. Трубы из термопластов для транспортирования жидких и газообразных сред. – ГОСТ ИСО 161, 2004.
2. Plastics piping and ducting systems – Determination of long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation. – ISO 9080, 2003.
3. Материалы термопластичные для напорных труб и соединительных деталей. Классификация и обозначения. Коэффициент запаса прочности. – ГОСТ ИСО 12162, 2006.
4. Горюловский М.И., Гвоздев И.В., Швабауэр В.В. К вопросу прочностного расчета армированных полимерных труб. – Полимерные трубы, № 2, 2005.
5. Plastics pipes for conveyance of fluids under pressure – Miner's rule – Calculation method for cumulative damage, EN ISO 13760, 1998.