

УДК 539.3

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБ
ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю. В. ВАСИЛЕВИЧ, Е. Ю. НЕУМЕРЖИЦКАЯ, В. В. МОЖАРОВСКИЙ
«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Широкое распространение в технике и перспективы использования трубчатых элементов конструкций (трубопроводов, корпусных деталей в виде пологих цилиндрических оболочек) из полимерных композиционных материалов (ПКМ) обусловлено технологичностью, низким весом, достаточной прочностью и высокой коррозионной стойкостью указанных изделий. Однако их механические испытания являются длительными и трудоемкими, в особенности при высоких температурах, характерных для эксплуатации указанных изделий. Данные натурных испытаний трубчатых элементов далеко не всегда удовлетворительно согласуются с результатами механических испытаний стандартных образцов. Это затрудняет выполнение и проверку расчетов реальных конструкций, в первую очередь, трубопроводов, из композиционных материалов. Решение указанной проблемы усложняется при оценке прочности и деформативности труб из направленно-армированных (волокнистых и тканевых) ПКМ вследствие, их выраженной анизотропии. Существенная зависимость деформационно-прочностных свойств таких ПКМ от рецептуры и схемы армирования увеличивает необходимый объем испытаний. Отсюда следует необходимость совершенствования методов механических испытаний труб из композиционных материалов на основе полимеров при повышенных температурах и для различных видов нагрузок.

Целесообразна разработка методов испытаний, исключающих необходимость использования крупногабаритных образцов труб и дорогостоящего гидравлического оборудования для создания испытательного давления в таких образцах. Существующая теория расчета слоистых анизотропных цилиндрических оболочек позволяет связать искомые деформационно-прочностные характеристики труб с механическими характеристиками материалов элементарного слоя или группы слоев, получаемых из стандартных механических испытаний на образцах простой формы. В частности, к таковым можно отнести испытания на растяжение лопаток, полосок и колец, а также призматических или цилиндрических образцов на сжатие с приложением сжимающей нагрузки на торцевую или боковую поверхности. Для ускорения испытаний труб на ползучесть и релаксацию может быть использована температурно-временная аналогия. Представляется также необходимым обеспечение адекватности испытаний путем одновре-

менного воздействия силовых факторов (внутреннего давления, изгиба, растяжения) и жидкой среды, способствующей разупрочнению материала трубы. Представляет интерес также учет динамических воздействий в виде гидравлических ударов, термоциклирования, вследствие резкого перепада температур, монтажных усилий и эксплуатационных нагрузок импульсного характера.

Реализация испытаний, учитывающих вышеуказанные факторы, способствует особенностям вязкоупругого поведения полимеров. Так, при малых напряжениях, в стеклообразном состоянии возникает только упругая деформация, а в высокоэластичном состоянии доминирует высокоэластичная деформация (упругая составляющая становится пренебрежимо малой). Нагрузки, вызывающие разрушение труб, приводят к значительным деформациям, что облегчает их регистрацию. Необратимые деформации, возникающие наряду с упругой и высокоэластичной деформациями, могут регистрироваться при сравнительно небольших нагрузках, и для характеристики таких деформаций можно использовать сдвиговое нагружение. Это позволяет определить начало пластического деформирования и характер упрочнения указанных материалов в стадии текучести, что, в свою очередь, позволяет выявить резервы прочности (живучесть) трубчатых элементов.

Для оценки деформационно-прочностных характеристик (модулей упругости, предела прочности и текучести, и т. д.) труб, как правило, используются гидравлические давления. Для определения вышеуказанных механических характеристик наибольшее распространение получили способы статических испытаний материалов при одноосном напряженном состоянии. Одноосное напряженное состояние при растяжении реализуют, используя образцы в виде полосок или двусторонних лопаток с постоянным поперечным сечением рабочей части.

Недостатком известных методов испытаний является необходимость центрирования и трудность закрепления образцов в захватах испытательной машины, связанная с требованием исключения проскальзывания и разрушения концевых частей образца. Отмеченные недостатки значительно усиливаются при испытании на растяжение хрупких композитных материалов.

Эти ограничения устраняются в случае применения трехслойных балок. Вместе с тем, более сложное и дорогостоящее изготовление образцов указанного типа ограничивает их использование.

Применительно к трубчатым элементам конструкций из армированных композитов, полученных методом намотки, используют кольцевые образцы, испытываемые нагрузками, приложенными в плоскости кольца, вырезанного из трубы. Нагружение колец внутренним давлением может производиться при помощи жестких полудисков (секторов) и резиновых колец, пластичного вещества или жидкости. Недостатком способа испыта-

ний с применением жестких полудисков или секторов является неравномерность давления по окружности кольца. Кроме того, действующие в кольце внутренние напряжения, помимо растяжения, включают значительную изгибную компоненту, что вызывает концентрацию напряжений в зоне разъема полудисков. Эти факторы приводят к погрешности определения механических характеристик материала труб, в частности, занижению пределов прочности и текучести. Указанных недостатков лишен способ, по которому нагружение трубчатого образца создается давлением рабочей среды в виде резины.

Методика была реализована в ИММС НАН Беларуси на серийном испытательном стенде COMTEN-94С для определения механических характеристик полимерных материалов при растяжении-сжатии. Испытывались образцы трехслойных металлополимерных труб диаметром 25,4 мм, высотой 10 мм и толщиной 1 мм.

Установлено, что незначительное сопротивление вязкопластичного эластомера деформации сдвига обеспечивает напряженное состояние испытуемого образца, близкое к одноосному, что способствует уточнению определения механических характеристик материала.

Вместе с тем, высокая вязкость используемого рабочего тела, по сравнению с жидкостями, приводит к радикальному снижению его утечки через зазоры сопряжений, позволяя осуществить нагружение образцов на серийных испытательных машинах (прессах) без использования гидравлического оборудования, упростить герметизацию и устранить загрязнение окружающей среды.

Сохранение вязкопластичных свойств эластомера, в широком интервале температур и скоростей нагружения, расширяет область использования предлагаемого способа. Достаточная когезия вязкопластичного эластомера обеспечивает его сплошность при заполнении нагрузочной камеры и проведении испытания, в том числе, при низкой температуре. Это также дает возможность повысить эффективность испытаний путем минимизации расхода эластомера и его повторного использования без дополнительной тепловой обработки.

Благодаря адгезии эластомера к образцу снижается вероятность разлета осколков в момент разрушения, что способствует безопасному проведению как статических, так и ударных испытаний, в особенности, хрупких материалов.

Таким образом, использование рабочего тела в виде вязкопластичного эластомера обеспечивает повышение точности и эффективности определения механических характеристик материала при растяжении по сравнению с известными методиками.

E-mail: vasilevich@bsu.by