

плотностью (число нитей на 1см^2 ткани) 36:20 (основа: уток), производимая Севанским заводом «Электростеклоизоляция» (Республика Армения).

Связующее для стеклопластика изготавливалось на основе эпоксифенольных смол (ЭД-20 и БФ-4). Величина коэффициента армирования стеклопластика составляет $\mu = 0.45$ ($\mu_{\text{основа}} = 0.29$,

$\mu_{\text{уток}} = 0.16$)

Направление основы стеклоткани совпадает с направлением продольной оси трубчатых образцов ($\varphi = 0^\circ$). Краткие сведения о методике проведения экспериментальных исследований, осуществленных через 7 лет после изготовления стеклотканевых труб, приводятся ниже.

Предварительно на одной части из общего числа образцов были определены пределы прочности (временного сопротивления) при осевом растяжении ($\sigma_{zz}^B = 146.6$ МПа) и при простом кручении ($\tau_{\theta z}^B = 47.3$ МПа).

Другая часть опытных образцов-близнецов была подвергнута осевому растяжению до определенного уровня (соответствующего 0.2; 0.4; 0.6 и 0.8 σ_{zz}^B), а затем, сохраняя эту нагрузку постоянной, была доведена до разрушения путем приложения ступенчатообразно увеличивающегося крутящего момента.

1.2 Кручение труб, предварительно нагруженных внутренним гидростатическим давлением. Изучение влияния внутреннего гидростатического давления на сопротивление разрушению стеклопластиковых трубчатых элементов при кручении было осуществлено с использованием опытных образцов, полученных из указанных в п. 1.1 труб (исходные образцы) при помощи шлифования. Внешний рабочий диаметр опытных трубчатых образцов составлял 39.7 мм, а длина рабочей части – 60 мм.

Далее приводится краткое описание методики проведения экспериментальных исследований, осуществленных через 30 лет после изготовления исходных трубчатых элементов.

Как и в случае испытаний, описанном в п. 1.1, предварительно на одной части из общего числа опытных трубчатых образцов были определены пределы временного сопротивления на растяжение в кольцевом направлении ($\sigma_{\theta\theta}^B = 458.2$ МПа) и при простом кручении ($\tau_{\theta z}^B = 36.2$ МПа). Остальная

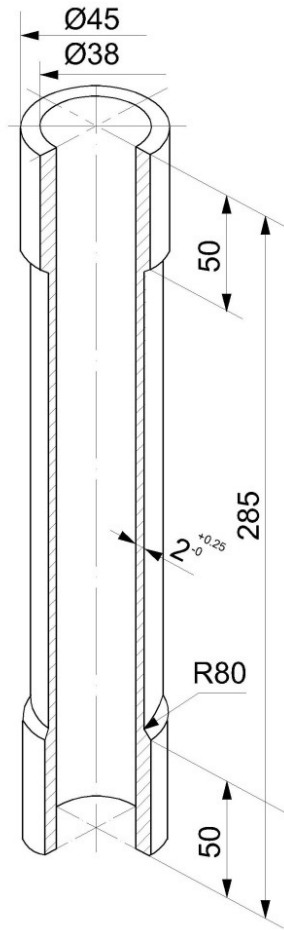


Рис.1. Чертеж стеклопластикового трубчатого элемента.

часть опытных образцов-близнецов была подвергнута внутреннему гидростатическому давлению до определенного уровня (соответствующего 0.4; 0.6 и 0.8 $\sigma_{\theta\theta}^B$), а затем, сохраняя эту нагрузку постоянной, была доведена до разрушения путем ступенчатого увеличения крутящего момента.

При проведении указанных выше экспериментальных исследований каждая ступень увеличивающегося в процессе испытания крутящего момента соответствовала 0.06 - 0.07 доли прочности стеклопластиковых труб при простом кручении. Выдержка труб на каждой ступени нагрузки соответствовала лишь времени, необходимому для снятия показаний деформаций (здесь они не рассматриваются). В каждом случае испытания были использованы данные 4-6 образцов-близнецов, разрушение которых имело место в рабочей зоне.

Описанные в п.п. 1.1 и 1.2 испытания стеклотканевых труб были осуществлены на трехосной разрывной машине ZDe 30.

2. Результаты и их обсуждение. 2.1. Предварительное нагружение труб осевым растягивающим усилием. Прежде чем перейти к обсуждению представленных в данном пункте результатов исследований отметим, что деформационные и прочностные свойства стеклотканевых труб при сложном нагружении растягивающим усилием и крутящим моментом с учетом очередности их приложения подробно рассматривались в работе [4]. Здесь приводятся отдельные результаты из указанной работы, позволяющие сделать некоторые обобщающие выводы.

Рассматриваемые в настоящем пункте результаты исследований на рис. 2 представлены в виде предельной кривой прочности в координатах σ_{zz} - $\tau_{\theta z}$, построенной по шести меткам включая σ_{zz}^B и $\tau_{\theta z}^B$.

Согласно данным рис. 2 нагружение на первом этапе испытания постоянным осевым растягивающим усилием приводит к увеличению значения сопротивления разрушению стеклотканевых труб при кручении по сравнению с их прочностью при простом кручении. Максимальное значение роста этой характеристики (более чем 30%) наблюдается у труб, предварительно нагруженных растягивающим усилием, соответствующим $0.6\sigma_{zz}^B$, что в основном связано с более равномерным распределением внутренних напряжений в армирующем компоненте композита при этом режиме испытания. Значение упомянутого выше роста сопротивления разрушению труб при предварительном нагружении осевым растягивающим усилием, соответствующим 0.4 и $0.8\sigma_{zz}^B$, составляет примерно 6 и 13%.

Отметим также, что согласно проведенным расчетам с увеличением уровня предварительного нагружения растягивающим усилием наблюдается стабилизация показателей сопротивления разрушению стеклотканевых труб при кручении, полученных при одних и тех же режимах испытаний. Так, при уровне осевого растягивающего напряжения, составляющем 0; 0.2; 0.4; 0.6 и $0.8\sigma_{zz}^B$, величина коэффициента вариации для указанного сопротивления разрушению составляет соответственно 0.14; 0.12; 0.05; 0.03 и 0.01.

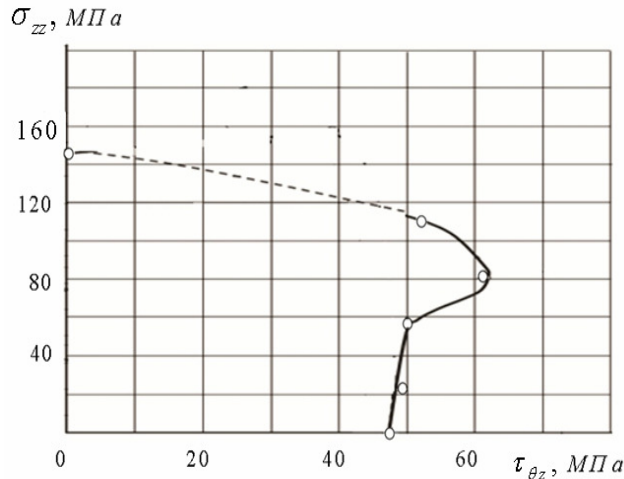


Рис. 2. Предельная кривая сопротивления разрушению тканевых стеклопластиковых труб при совместном действии осевого растягивающего усилия и крутящего момента: $\tau_{\theta z}^B = f(\sigma_{zz})$.

2.2. Предварительное нагружение труб внутренним гидростатическим давлением. Результаты рассматриваемых здесь исследований в виде предельной кривой прочности в координатах $\sigma_{\theta\theta}$ - $\tau_{\theta z}$ представлены на рис. 3. Кривая построена по пяти меткам включая $\sigma_{\theta\theta}^B$ и $\tau_{\theta z}^B$.

Сравнение данных рис. 3 показывает, что сопротивление разрушению при кручении стеклотканевых труб, предварительно нагруженных внутренним гидростатическим давлением, соответствующим $0.4\sigma_{\theta\theta}^B$, оказывается примерно на 40% выше по сравнению с пределом их прочности при простом кручении $\tau_{\theta z}^B$.

Такое сравнение также показывает, что в случаях кручения труб, предварительно нагруженных внутренним гидростатическим давлением, соответствующим 0.6 и $0.8\sigma_{\theta\theta}^B$, упомянутое выше сопротивление разрушению оказывается соответственно на 22 и 47% меньше по отношению к пределу их прочности при простом кручении.

Указанное выше существенное увеличение сопротивления разрушению при кручении стеклотканевых труб, находящихся под воздействием постоянного внутреннего гидростатического давления, соответствующего $0.4\sigma_{\theta\theta}^B$, можно объяснить более равномерным распределением внутренних напряжений между армирующими волокнами. А наблюдаемое уменьшение упомянутой характеристики при больших уровнях $\sigma_{\theta\theta}$ связано в основном с тем, что еще до начала процесса кручения трубы приобретают бочкообразную форму, приводящую тем самым к снижению первоначаль-

ной плотности армирующей стеклоткани, а следовательно, и увеличению степени податливости труб относительно кручения.

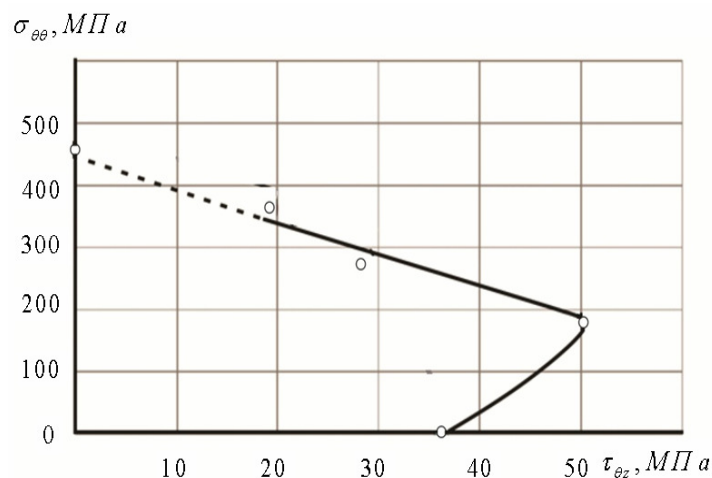


Рис. 3. Предельная кривая сопротивления разрушению тканевых стеклопластиковых труб при совместном действии внутреннего гидростатического давления и крутящего момента $\tau'_{\theta z} = \varphi(\sigma_{\theta\theta})$.

3. Экспериментальное обоснование наблюдаемых эффектов. Согласно результатам, представленным в работе М. М. Мартиросяна [5], в условиях сложного нагружения на первом этапе испытаний приложенное предварительное растягивающее осевое усилие оказывает существенное положительное влияние на сопротивление разрушению по кольцевому направлению стеклопластиковых трубчатых образцов, подвергнутых на втором этапе нагружения внутреннему гидростатическому давлению. Обнаруженный при этом рост сопротивления разрушению зависит как от уровня действующего на образец постоянного растягивающего усилия, так и от величины угла φ его армирования.

Согласно данным М. М. Мартиросяна [5] при рассматриваемых углах армирования максимальное увеличение сопротивления разрушению по кольцевому направлению $\sigma_{\theta\theta}^B$ наблюдается у трубчатых образцов, предварительно нагруженных осевым растягивающим усилием, соответствующим $0.6 \sigma_{zz}^B$. Значение указанного роста при углах армирования труб $\varphi = 0^\circ$, $\varphi = 22.5^\circ$ и $\varphi = 45^\circ$ составляет соответственно 65 (коэффициент вариации 0.02); 85 (коэффициент вариации 0.13) и 30% (коэффициент вариации 0.04).

В работе [5] приводятся также результаты контрольных экспериментов, подтверждающие достоверность обнаруженного эффекта. При этом

разработка методики этих экспериментов была осуществлена исходя из следующего предположения: если при двухосном растяжении от воздействия $\sigma_{zz} > 0$ наблюдается повышение сопротивления разрушению труб по кольцевому направлению $\sigma_{\theta\theta}^B$ и при этом $\sigma_{\theta\theta}^B > \sigma_{\theta\theta}^B$, то разгрузка осевого напряжения до нулевого его значения должна привести к неременному разрушению образца от внутреннего давления.

Контрольные эксперименты, проведенные на трубчатых образцах с $\varphi = 45^\circ$ ($\sigma_{zz}^B = 140$ МПа, $\sigma_{\theta\theta}^B = 130$ МПа), подтвердили справедливость отмеченного выше предположения М. М. Мартиросяна [5]. Трубы, нагруженные двухосным растяжением и выдерживающие напряжения в кольцевом направлении $\sigma_{\theta\theta}^B = 156$ МПа в условиях наличия $\sigma_{zz} = 49$ МПа, при разгрузке последнего моментально разрушались.

Следуя изложенному выше, нами также были осуществлены контрольные эксперименты. Согласно их данным тканевые стеклопластиковые трубы, подвергнутые кручению в условиях $\sigma_{zz} = 60$ МПа= $const$ и выдерживающие при этом касательные напряжения $\tau_{\theta z} = 53$ МПа, в процессе разгрузки по осевому направлению разрушались от кручения.

Аналогичное явление было зафиксировано и в контрольных экспериментах кручения труб в условиях постоянно действующего внутреннего гидростатического давления, соответствующего $\sigma_{\theta\theta} = 100$ МПа= $const$. В этом случае испытания трубы, выдерживающие касательные напряжения $\tau_{\theta z} = 46$ МПа, разрушались от кручения в процессе снижения уровня гидростатического давления.

Заключение. Если при последовательном нагружении осевым растягивающим усилием или внутренним гидростатическим давлением и крутящим моментом сначала прикладывается растяжение или внутреннее давление, имеет место повышение, в некоторых случаях существенное, сопротивления разрушению на сдвиг тканевых стеклопластиковых трубчатых элементов с основой, направленной вдоль оси трубы.

Отмеченное явление, обнаруженное в результате прямых измерений, указывает на то, что существенного повышения несущей способности одних и тех же трубчатых конструктивных элементов на основе стеклоткани, эксплуатируемых в условиях кручения, можно достичь путем обеспечения постоянно действующего на них осевого растягивающего усилия или внутреннего давления.

Решение указанных задач довольно успешно можно осуществить конструктивным методом.

Институт механики НАН РА
e-mail: koryan@mechins.sci.am

К. А. Карапетян, С. Ш. Валесян, Н. С. Мурадян

Влияние внутреннего гидростатического давления и осевого растягивающего усилия на сопротивление разрушению стеклопластиковых труб при кручении

Приводятся результаты исследования влияния приложенного на первом этапе нагружения внутреннего гидростатического давления или осевого растяжения на сопротивление разрушению при кручении тонкостенных стеклопластиковых трубчатых элементов. Экспериментально установлено, что влияние упомянутых выше силовых факторов на сопротивление разрушению стеклопластиковых труб при кручении в некоторых случаях может оказаться существенным. Предлагается способ увеличения несущей способности при кручении одних и тех же тонкостенных композитных трубчатых элементов.

Կ. Ա. Կարապետյան, Ս. Շ. Վալեսյան, Ն. Ս. Մուրադյան

Երբին հիդրոստատիկ ճնշման և առանցքային ձգման ազդեցությունը ապակեպլաստե խողովակների ըստ ոլորման քայքայելու դիմադրության վրա

Բերվում են տարբեր մակարդակի ներքին հիդրոստատիկ ճնշման կամ առանցքային ձգող ճիգի ազդեցության տակ գտնվող ապակեպլաստե բարակապատ խողովակների ըստ ոլորման քայքայելուն դիմադրելու հետազոտությունների արդյունքները: Փորձնականորեն հաստատված է, որ վերը նշած ուժային գործոնների ազդեցությունը ապակեպլաստե խողովակների ոլորմամբ քայքայման դիմադրության վրա որոշ դեպքերում կարող է լինել էական: Առաջարկվում է նույն և միննույն բարակապատ կոմպոզիտե խողովակաձև տարրերի ըստ ոլորման կրողականության բարձրացման եղանակ:

K. A. Karapetyan, S. Sh. Valesyan, N. S. Muradyan

The influence of the Hydrostatic Pressure and Axial Tension on the Resistance to Fracture of Glass-Plastic Tubes Subjected to Torsion

The research results of the influence of the inner hydrostatic pressure and axial tension applied at the loading first stage on the resistance to fracture of thin-walled glass-plastic tubular elements subjected to torsion are brought. It is experimentally established that the effect of above-mentioned force factors on the resistance to fracture of the glass-plastic tubes subjected to torsion can be essential in some cases. The method of increasing the magnitude of resistance to fracture of the same thin-walled composite tubular elements subjected to torsion is suggested.

Литература

1. *Шнейдерович Р. М.* Прочность при статическом и повторно-статическом нагружениях. М. Машиностроение. 1968. 343 с.

2. *Лимонов В. А., Разин А.Ф., Микельсон М. Я.* – Механика композитных материалов. 1992. № 3. С.332-340.
3. *Мартirosян М. М.* – Промышленность Армении. 1971. № 10. С. 56-57.
4. *Карapетян К. А., Саркисян Н. Е., Хачикян А. Г., Азнаурян А. Г.* – Изв. НАН Армении. Механика. 2001. Т. 54. № 4. С. 61-69.
5. *Мартirosян М. М.* – Механика полимеров. 1976. № 6. С. 1025-1029.