

УДК 678.057:620.17:539.4

**ЗАВИСИМОСТЬ ДЕФОРМАТИВНОСТИ И РАЗРУШЕНИЯ  
СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ ОТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО  
КРУЧЕНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ**

**Карапետян К.А., Валесян С.Ш., Мурадян Н.С.**

**Ключевые слова:** стеклопласт, трубчатый элемент, крутящий момент, внутреннее гидростатическое давление, прочность, сопротивление деформированию, несущая способность.

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

**Dependence of deformability and destruction of glass fiber pipes from initial torsion under the action of internal pressure**

**Keywords:** glass-plastic, tubular element, twisting moment, inner hydrostatic pressure, strength, resistance to deformation, load-carrying capability.

The research results of the resistance to the deformation and destruction of fiber glass-plastic tubular elements with the reinforcement angle  $\varphi=0^{\circ}$  (the direction of glass-fiber warp and the tube axis are coincided) subjected to the complex loading of twisting moment and inner hydrostatic pressure are brought and discussed.

The following is determined that the increase of the twisting moment rate acting during the testing constantly is led to the decrease of resistance to destruction with valuable damping speed for glass-plastic tubes subjected to inner hydrostatic pressure.

It is detected that during the loading by inner hydrostatic pressure for tubes subjected to constant twisting moment, shear and longitudinal strains along with the basic radial strain are appearing and developing.

The characteristic properties of the resistance to the deformation and destruction of fiber glass-plastic tubes subjected to the consequent loading by twisting moment and inner hydrostatic pressure for the case of twisting moment applied primarily are discussed.

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

**Ներքին ճնշման ազդեցության դեպքում ապակեպլաստե խողովակների դեֆորմատիվության և քայքայման կախվածությունը նախնական ոլորումից**

**Հիմնաբառեր.** ապակեպլաստ, խողովակաձև տարր, ոլորող մոմենտ, ներքին հիդրոստատիկ ճնշում, ամրություն, դեֆորմացվելուն դիմադրողականություն, կրողականություն

Բերվում և քննարկվում են գրոյական անկյամբ ամրանավորված գործվածքային ապակեպլաստե խողովակաձև տարրերի (ապակե-թելեգործվածքի հենքի թելիկների և խողովակների առանցքների ուղղությունները համընկնում են,  $\varphi=0^{\circ}$ ) դեֆորմացվելուն և քայքայվելուն դիմադրելու ուսումնասիրման արդյունքները նրանց ոլորող մոմենտով և ներքին հիդրոստատիկ ճնշմամբ բարդ բեռնավորման դեպքում: Հաստատված է, որ փորձարկման ընթացքում գործող հաստատուն ոլորող մոմենտի մակարդակի ավելացումը բերում է ապակեպլաստե խողովակների ներքին հիդրոստատիկ ճնշմամբ քայքայվելու դիմադրողականության էսպես նվազող արագությամբ փոքրացմանը: Բացահայտված է, որ ներքին հիդրոստատիկ ճնշմամբ բեռնավորման պրոցեսում հաստատուն ոլորող մոմենտի ազդեցության տակ գտնվող խողովակներում առաջանում և զարգանում են հիմնական շառավղային դեֆորմացիաներին ուղեկցող սահքի, ինչպես նաև ընդերկայնական դեֆորմացիաներ: Փորձ է արվում մեկնաբանել գործվածքային ապակեպլաստե խողովակների քայքայվելուն դիմադրելու և դեֆորմացման վարքի դրսևորած առանձնահատկությունները նրանց հաջորդաբար ոլորող մոմենտով և ներքին ճնշմամբ բեռնավորելիս, երբ սկզբում կիրառվում է ոլորող մոմենտը:

Приводятся и обсуждаются результаты исследований сопротивления деформированию и разрушению тканевых стеклопластиковых трубчатых элементов с углом армирования  $\varphi=0^{\circ}$  (направления основы

стеклоткани и оси трубы совпадают) в условиях сложного нагружения крутящим моментом и внутренним гидростатическим давлением. Установлено, что увеличение уровня постоянно действующего в ходе испытания крутящего момента приводит к уменьшению с существенно затухающей скоростью сопротивления разрушению стеклопластиковых труб при внутреннем гидростатическом давлении. Выявлено, что в процессе нагружения внутренним гидростатическим давлением у труб, находящихся под воздействием постоянного крутящего момента, появляются и развиваются сдвиговые, а также продольные деформации, сопутствующие основным радиальным деформациям. Сделана попытка прокомментировать особенности сопротивления разрушению и деформационного поведения тканевых стеклопластиковых труб, подвергнутых последовательному приложению крутящего момента и внутреннего гидростатического давления в случае, если сначала прикладывается кручение.

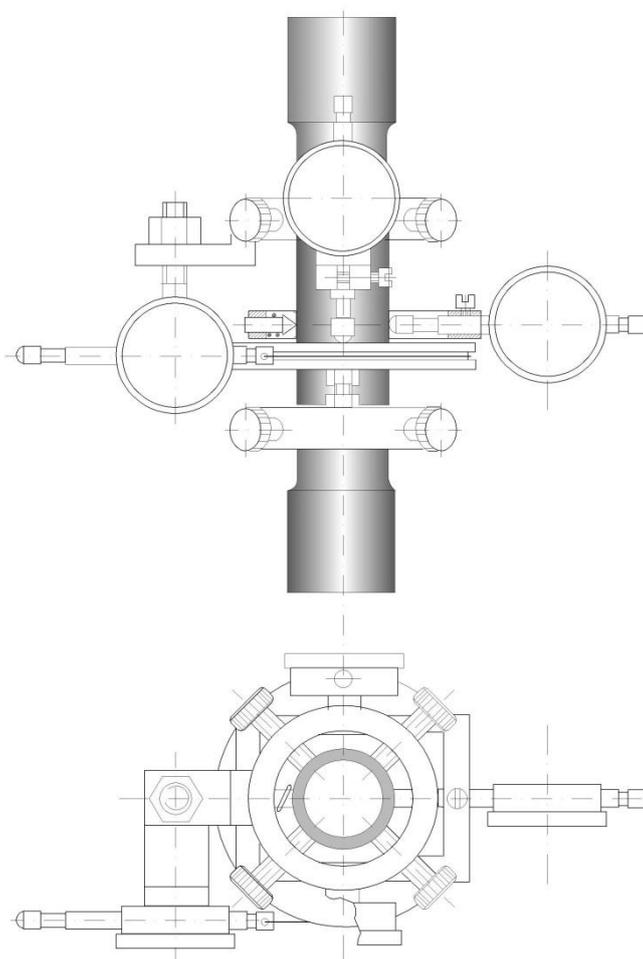
**Введение.** Считается, что исследования механического поведения тонкостенных трубчатых элементов из армированных композитов при двух вариациях нагрузок – растяжение с кручением и сжатие с кручением, являются наиболее актуальными. Это связано с тем, что напряжения, возникающие в таких элементах в реальных условиях эксплуатации довольно успешно можно воссоздать применением соответствующей схемы растягивающих или сжимающих усилий и крутящих моментов [1,2]. При этом, в случае последовательного приложения крутящего момента и осевого растягивающего усилия, если сначала прикладывается кручение, наблюдается слабая тенденция увеличения сопротивления разрушению при растяжении у тканевых стеклопластиковых труб с основой, направленной вдоль продольной оси [3,4]. Здесь рассматривается вопрос сопротивления деформированию и разрушению трубчатых элементов из слоистого стеклопластика при отдельном и комбинированном, в условиях сложного нагружения, воздействии крутящего момента и внутреннего гидростатического давления (растяжение в кольцевом направлении).

**Экспериментальная часть.** В качестве опытных образцов были использованы стеклопластиковые трубы (фиг. 1), которые при помощи шлифования были получены из исходных трубчатых элементов с внутренним диаметром 38 мм, толщиной стенки 2.25 мм и длиной 285 мм. Величины внешнего диаметра и длины рабочей зоны опытных трубчатых образцов составляют 39,7 мм и 60 мм, соответственно. Исходные трубы были изготовлены методом намотки стеклоткани, предварительно пропитанной модифицированной эпоксидной смолой, на металлическую оправку с последующим горячим прессованием по всей боковой поверхности в специальных формах [5]. Была использована стеклоткань плотного переплетения с основным перекрытием [6] марки Т-23 (ТУ 6-11-231-76) с плотностью (число нитей на 1см<sup>2</sup> ткани) 36:20 (основа : уток), производимая Севанским заводом «Электростеклоизоляция» (Республика Армения). 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 трубы ( $\varphi = 0^{\circ}$ ). Для создания внутреннего гидростатического давления в опытных трубчатых образцах, передаваемого из соответствующего агрегата (фиг. 2) трёхосной разрывной машины ZDe 30, на которой осуществлялись испытания, было сконструировано и изготовлено специальное приспособление (фиг.3).

Ниже приводятся краткие сведения о методике проведения исследований.

Предварительно на одной части из общего количества опытных трубчатых образцов были определены пределы прочности (временного сопротивления) при внутреннем гидростатическом давлении ( $\sigma_{\text{оо}}^B = 458,2 \text{ МПа}$ ) и при простом кручении ( $\tau_{\text{оз}}^B = 36,2 \text{ МПа}$ ).

Другая часть опытных образцов-близнецов была нагружена крутящим моментом определённого уровня (соответствующего 0.4; 0.6; 0.8  $\tau_{\theta z}^B$ ), а затем, сохраняя эту нагрузку постоянной, образцы были доведены до разрушения путём применения ступенчато повышающегося внутреннего гидростатического давления. С целью получения сравнительно полной информации о деформационном поведении стеклотканевых трубчатых образцов, каждая ступень увеличивающейся в процессе испытания нагрузки, соответствовала 0.05...0.07 долям сопротивления разрушению образцов при внутреннем гидростатическом давлении. Это позволило получить данные о деформации до уровня кольцевого напряжения, составляющего 0.88-0.90 части от разрушающего его значения.



**Фиг.1.** Чертёж опытного трубчатого образца с установленным приспособлением, предназначенным для измерения радиальных, продольных и сдвиговых деформаций

Выдержка образцов на каждой ступени нагрузки соответствовала лишь времени, необходимому для снятия данных деформаций с индикаторов часового типа. Измерения деформаций осуществлялись с помощью прибора, предоставляющего возможность одновременного снятия отсчётов радиальных, осевых и угловых деформаций (фиг.1 и 2). Продолжительность испытаний опытных образцов, осуществлённых по вышеописанной программе, составляла примерно 6-10 мин. В каждом случае испытаний были использованы данные 4...6 опытных образцов-близнецов, разрушение которых имело место в рабочей зоне.

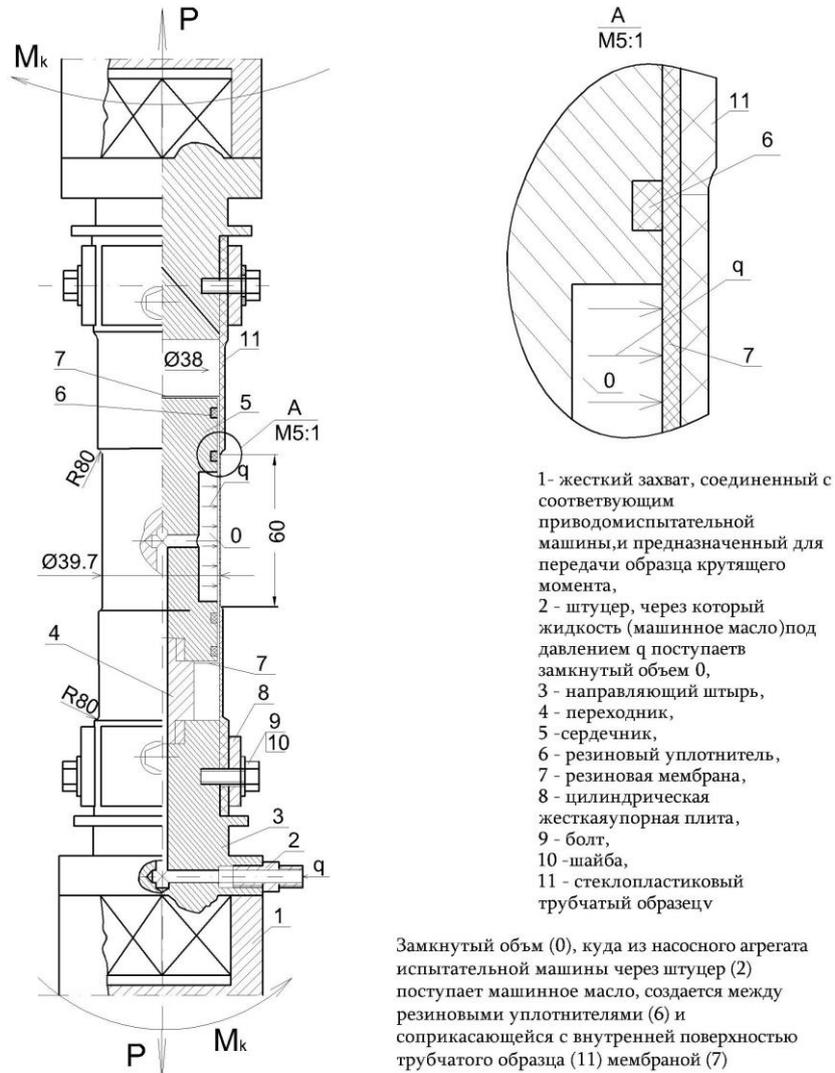


**Фиг.2.** Опытный трубчатый образец, установленный на испытательной машине ZDe30

Отметим, что опытные образцы выточены и соответственные экспериментальные исследования проведены через 30 лет после изготовления исходных стеклопластиковых трубчатых элементов.

**Результаты и их обсуждение.** Данные испытаний на внутреннее гидростатическое давление стеклотканевых труб, предварительно нагружённых крутящим моментом, соответствующим различным уровням относительного касательного напряжения  $\tau_{0z} / \tau_{0z}^B$  приведены в таблице и на фиг. 4–6. В упомянутой таблице в числителях представлены абсолютные величины сопротивления разрушению труб в кольцевом направлении  $\sigma_{\theta\theta}^B$ , а в знаменателях они выражены в процентах. За 100% принято

значение предела прочности (временного сопротивления) стеклотканевых труб в кольцевом направлении  $\sigma_{\theta\theta}^B$ , т.е. при  $\tau_{\theta z} = 0$ .



Фиг.3. Чертеж приспособления, предназначенного для испытания трубчатых образцов на внутреннее гидростатическое давление.

Таблица

Значения $\sigma_{\theta\theta}^B$ (МПа) при уровнях относительного напряжения $\tau_{\theta z} / \tau_{\theta z}^B$			
0	0.4	0.6	0.8
<u>458.2</u>	<u>445.6</u>	<u>350.3</u>	<u>331.4</u>
100	97	76	72

Согласно данным, приведённым в таблице, влияние предварительно приложенного крутящего момента, соответствующего  $0.4\tau_{0z}^B$ , на сопротивление разрушению стеклотканевых труб в кольцевом направлении  $\sigma_{\theta\theta}^B$ , оказывается несущественным.

Из данных этой же таблицы следует, что действующий в процессе испытания постоянный крутящий момент, соответствующий  $0.6\tau_{0z}^B$ , приводит к снижению значения  $\sigma_{\theta\theta}^B$  примерно на 24% по сравнению со значением предела прочности труб в кольцевом направлении  $\sigma_{\theta\theta}^B$ . Спад величины  $\sigma_{\theta\theta}^B$  наблюдается и у опытных образцов, находящихся под постоянным воздействием крутящего момента, соответствующего  $\tau_{0z} / \tau_{0z}^B = 0.8$ , однако, величина этого спада по сравнению с зафиксированным спадом в предыдущем случае испытания труб, оказывается несущественной (всего 4%, табл.).

Наблюдения, проведенные в ходе описываемых здесь испытаний, показали, что характер разрушения стеклотканевых труб, подвергнутых ступенчато возрастающему внутреннему гидростатическому давлению в условиях  $\tau_{0z} = 0.8\tau_{0z}^B$ , соответствует характеру разрушения труб, подобному разрушению от воздействия только крутящего момента, а при низких уровнях  $\tau_{0z}$  — от воздействия только внутреннего гидростатического давления.

Упомянутый выше спад сопротивления разрушению в кольцевом направлении тканевых стеклопластиковых труб, находящихся под воздействием постоянного крутящего момента, можно объяснить, в основном, продолжающимся, в процессе увеличения внутреннего гидростатического давления, неравномерным развитием внутренних напряжений в армирующем компоненте композита, приводящим тем самым к образованию очагов концентрации напряжений. Здесь подразумевается, что, вследствие предварительного приложения на трубы крутящего момента, происходит начальное искажение взаиморасположения волокон армирующей стеклоткани и это явление находит свое продолжение в процессе повышения внутреннего гидростатического давления в трубах.

Приведённые на фиг.4 кривые зависимости построены между напряжениями  $\sigma_{\theta\theta}$  и деформациями в радиальном направлении  $\varepsilon_{rr}$ , рассчитанными на основе отсчётов, снятых с показаний соответствующего датчика (поз.14, фиг.1).

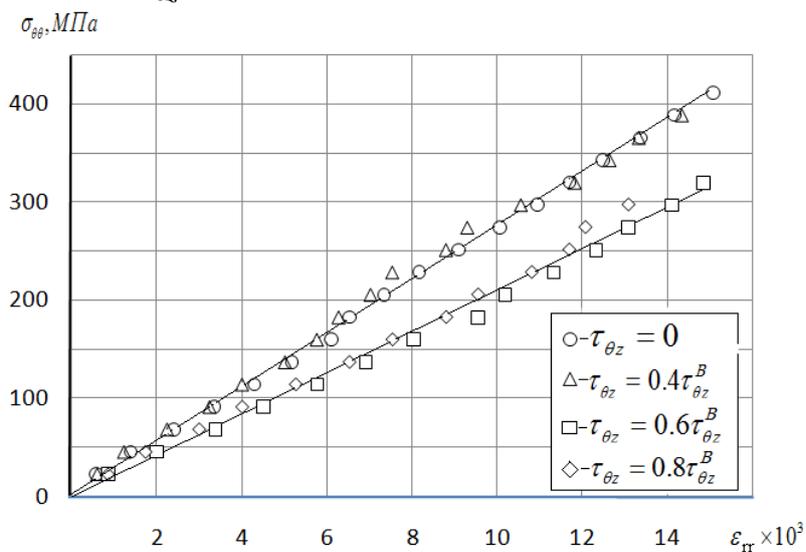
Основываясь на данные этой фигуры, замечаем, что связь между растягивающими напряжениями в кольцевом направлении  $\sigma_{\theta\theta}$  и радиальными деформациями  $\varepsilon_{rr}$  для рассматриваемых здесь всех случаев испытаний стеклотканевых труб носит прямолинейный характер, что можно объяснить структурной особенностью волокон утка стеклоткани типа полотняного переплетения с основным перекрытием [6].

В связи со сказанным отметим, что согласно приведённым в работе [7] данным, при осевом растяжении стеклопластиковых труб на основе ткани полотняного переплетения, с основой, направленной вдоль оси, связь между растягивающими напряжениями и продольными деформациями оказывается нелинейной. При этом, указанное явление также объясняется структурной особенностью стеклоткани типа

полотняного переплетения с основным перекрытием [6], а именно, технологически регулярно искривленностью волокон основы ткани.

Сравнение данных фиг.4 показывает, что при одном и том же уровне напряжения  $\sigma_{\theta\theta}$  величины деформаций  $\varepsilon_{rr}$  стеклотканевых труб, испытанных при  $\tau_{\theta z} = 0$  и  $\tau_{\theta z} = 0,4\tau_{\theta z}^B = \text{const}$ , мало отличаются друг от друга. Подобное указанной закономерность наблюдается и в случаях аналогичных испытаний труб, осуществлённых в условиях  $\tau_{\theta z} = 0,6\tau_{\theta z}^B = \text{const}$  и  $\tau_{\theta z} = 0,8\tau_{\theta z}^B = \text{const}$  (фиг. 4). При этом, в указанных последних случаях испытаний при одном и том же уровне напряжения  $\sigma_{\theta\theta}$  значения деформаций  $\varepsilon_{rr}$  оказываются на 30-35% большими по сравнению с одноименными деформациями, полученными в отмеченных выше первых двух случаях испытания стеклотканевых труб.

Рассмотрим поведение деформаций сдвига  $\gamma_{\theta z}$ , сопровождающее основным радиальным деформациям  $\varepsilon_{rr}$ , в процессе нагружения стеклотканевых труб внутренним гидростатическим давлением в условиях постоянно действующего крутящего момента  $M_K$  различных уровней. Отметим, что в случае  $M_K$  деформации сдвига  $\gamma_{\theta z}$  у труб не наблюдаются.



Фиг. 4. Кривые деформирования в радиальном направлении стеклотканевых труб, подвергнутых внутреннему гидростатическому давлению в условиях отсутствия или наличия постоянно действующего крутящего момента

Как показывают наблюдения, повышение в процессе испытания уровня внутреннего гидростатического давления приводит к развитию с возрастающей скоростью, сдвиговых деформаций  $\gamma_{\theta z}$  и оно тем интенсивнее, чем больше величина крутящего

момента, предварительно приложенного к стеклотканевому трубчатому образцу (фиг.5).

Появление и развитие в процессе нагружения внутренним гидростатическим давлением, деформаций сдвига стеклотканевых труб, находящихся под воздействием постоянно действующего крутящего момента, обусловлено, в основном, проявляющимися в течение этого процесса сдвиговыми деформациями ползучести. При этом, предполагается, что пошаговое повышение внутреннего давления может существенным образом повысить податливость труб относительно сдвиговых деформаций.

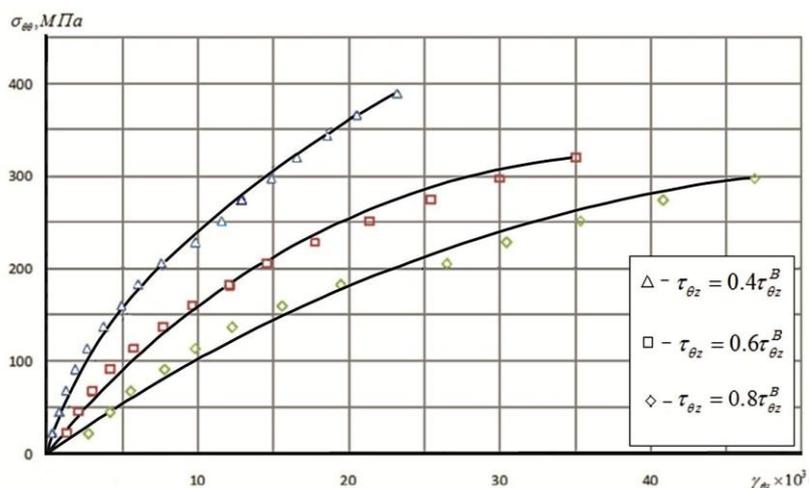
Здесь уместно отметить приведённые ниже данные, полученные в результате экспериментального исследования ползучести при сдвиге тканевых тонкостенных стеклопластиковых труб с основой, направленной вдоль оси, осуществлённого в возрасте (время, отсчитываемое после изготовления образцов) 12 лет [8]. В этих экспериментах в качестве опытных образцов были использованы трубы, близнецы которых, в дальнейшем (в возрасте 30 лет) служили исходными элементами, из которых методом шлифования были получены опытные образцы, применяемые при проведении рассматриваемых в данной работе исследований.

Согласно данным работы [8], величина сдвиговых деформаций ползучести труб через 10 мин. после приложения крутящего момента  $M_K$ , составляющего 0.4, 0.6 и 0.7 доли от разрушающего момента  $M_p$ , достигает до значения, примерно,  $4 \times 10^{-3}$ ,  $13 \times 10^{-3}$  и  $20 \times 10^{-3}$ , соответственно. А по данным, приведённым на фиг.5, в процессе повышения внутреннего давления, продолжающемся 6-10 мин., приобретённое трубами максимальное значение деформации сдвига  $\gamma_{\theta z}$ , в случаях их нахождения под воздействием крутящего момента, составляющего 0.4, 0.6 и 0.8 доли от разрушающего момента, достигает величин  $23 \times 10^{-3}$ ,  $35 \times 10^{-3}$  и  $47 \times 10^{-3}$ , соответственно.

Обсудим поведение продольных деформаций, сопровождающих основным радиальным деформациям  $\epsilon_r$ , тканевых стеклопластиковых труб в процессе их испытания по рассматриваемой здесь программе.

По данным фиг.6, в случае одноосного внутреннего давления ( $\tau_{\theta z} = 0$ ), увеличение напряжения в кольцевом направлении до величины  $\sigma_{\theta\theta} = 205.7$  МПа (в этом случае  $\sigma_{\theta\theta} / \sigma_{\theta\theta}^B \approx 0,45$ ) приводит к монотонному укорочению стеклопластиковых труб. Продольная деформация при этом достигает величины  $\epsilon_{zz} \approx 0,63 \times 10^{-3}$ . При дальнейшем увеличении  $\sigma_{\theta\theta}$  до уровня 411.4 МПа наблюдается удлинение труб, достигая до  $\epsilon_{zz} \approx 0,81 \times 10^{-3}$ .

Качественно аналогичное вышеуказанному явление наблюдается и в процессе нагружения труб внутренним гидростатическим давлением при  $\tau_{\theta z} = 0, 4\tau_{\theta z}^B = \text{const}$  и при  $\tau_{\theta z} = 0, \tau_{\theta z}^B = \text{const}$  (фиг. 6). В этих случаях, однако, максимальное укорочение труб, составляющее соответственно  $\epsilon_{zz} \approx 0,13 \times 10^{-3}$  и  $\epsilon_{zz} \approx 0,04 \times 10^{-3}$ , наблюдается при сравнительно низких уровнях напряжения в кольцевом направлении:



Фиг.5. Кривые сдвиговых деформаций стеклотканевых труб, подвергнутых внутреннему гидростатическому давлению в условиях постоянно действующего крутящего момента

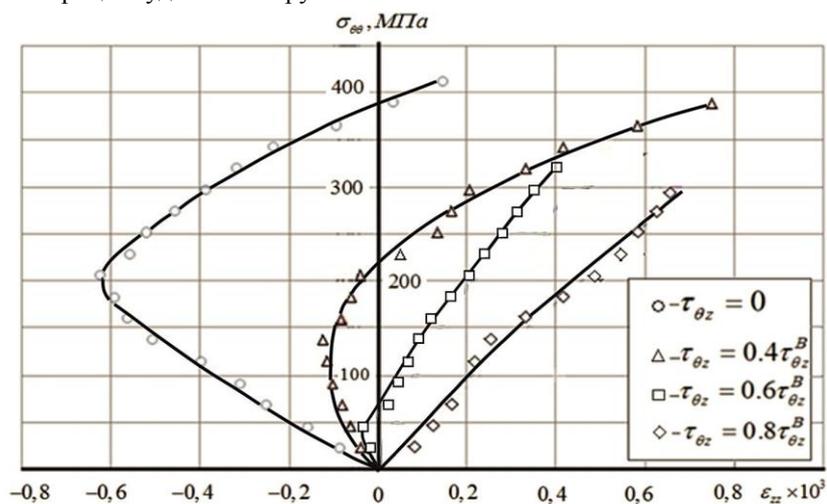
$\sigma_{00} = 137.1$  МПа ( $\sigma_{00} / \sigma_{00}^{B'} \approx 0.31$ ) – в вышеуказанном первом случае испытания и  $\sigma_{00} = 45.7$  МПа ( $\sigma_{00} / \sigma_{00}^{B'} \approx 0.13$ ) – во втором случае. В процессе дальнейшего увеличения кольцевого напряжения до значения  $\sigma_{00} = 338.5$  МПа, в случае испытания труб в условиях  $\tau_{0z} = 0,4\tau_{0z}^B$ , и до  $\sigma_{00} = 319.3$  МПа – при  $\tau_{0z} = 0,6\tau_{0z}^B$ , наблюдается монотонное удлинение стеклотканевых труб, достигая до значения  $\epsilon_{zz} \approx 0.88 \times 10^{-3}$  и  $\epsilon_{zz} \approx 0.45 \times 10^{-3}$ , соответственно.

При пошаговом нагружении внутренним гидростатическим давлением труб, находящихся под воздействием крутящего момента, соответствующем  $0.8\tau_{0z}^B$ , наблюдается практически линейное их удлинение (фиг.6).

Описанному выше поведению продольных деформаций, сопутствующих основным радиальным деформациям тканевых стеклопластиковых труб с основой, направленной вдоль оси, можно дать изложенное ниже объяснение.

Деформации в продольном направлении стеклотканевых труб, подвергнутых только внутреннему гидростатическому давлению ( $\tau_{0z} = 0$ ), складываются, в основном, из слагаемых, образовавшихся в результате параллельно развивающихся в ходе нагружения процессов приобретения трубами некоторой бочкообразной формы и выпрямления технологически регулярно искривленных волокон основы стеклоткани. При этом, в начальный период процесса повышения внутреннего гидростатического давления в деформационном поведении в продольном направлении доминирующую роль играет приобретение трубами бочкообразной формы, приводящей к их укорочению. В ходе дальнейшего повышения гидростатического давления фактор выпрямления технологически регулярно искривленных волокон основы вязки стеклоткани начинает все больше превалировать над фактором приобретения трубами

бочкообразной формы, в результате чего появляется и развивается с возрастающей скоростью процесс удлинения труб.



Фиг.6. Кривые деформирования в продольном направлении стеклотканевых труб, подвергнутых внутреннему гидростатическому давлению в условиях отсутствия или наличия постоянно действующего крутящего момента

В случае же рассматриваемого здесь сложного нагружения на деформационное поведение в продольном направлении, кроме упомянутых выше факторов, существенную роль могут сыграть и деформации сдвига, возникающие в результате предварительного нагружения труб постоянным крутящим моментом, а также сдвиговая ползучесть, имевшая место в процессе по-шагового повышения внутреннего гидростатического давления, продолжающегося, как уже отмечалось, 6-10 мин.

Соотношением величин отмеченных выше слагаемых деформаций и обусловлен характер деформирования в продольном направлении (подразумевается предварительное укорочение и последующее удлинение или только удлинение) стеклотканевых труб с нулевым углом армирования, подвергнутых сложному нагружению крутящим моментом и внутренним гидростатическим давлением по рассматриваемой здесь программе.

Следует особенно обратить внимание на характер деформирования в продольном направлении тканевых стеклопластиковых труб с углом армирования  $\varphi=0^0$ , появляющийся в процессе их нагружения только внутренним гидростатическим давлением. В процессе такого нагружения, как уже отмечалось, трубы сначала подвергаются укорочению, а затем - удлинению. При этом, изменение направления деформирования происходит при уровне кольцевого напряжения  $\sigma_{\theta\theta}$ , не превышающего 0,45 доли от предела прочности труб в кольцевом направлении  $\sigma_{\theta\theta}^B$ . Сказанное указывает на то, что в случае эксплуатации упомянутых выше комpositных трубчатых элементов в условиях повторно-циклического (пульсирующего) внутреннего гидростатического давления, кроме циклических радиальных деформаций, возникают и продольные деформации с циклически изменяющимся направлением деформирования.

Вероятно, наблюдаемый эффект укорочение-удлинение тонкостенных труб при пульсирующем внутреннем давлении присущ аналогичным эффектам, наблюдаемым в природных тонкостенных сосудах, испытывающих внутреннее пульсирующее давление.

**Заключение.** Образующиеся в технологическом процессе изготовления остаточные и появляющиеся при эксплуатации непредусмотренные касательные напряжения  $\tau_{oz}$ , если сумма их величин не превышает 0,4 доли от значения временного сопротивления при сдвиге  $\tau_{oz}^B$ , практически не могут повлиять на несущую способность тонкостенных трубчатых элементов из тканевых пластиков с углом армирования  $\varphi=0^0$ , эксплуатирующихся в условиях постоянно действующего внутреннего гидростатического давления

В случае эксплуатации в условиях действия пульсирующего внутреннего гидростатического давления у трубчатых изделий, подобных указанным выше элементам (напр., балоны из композитов или металлические, усиленные тканевыми пластиками), кроме циклических радиальных деформаций могут возникнуть и продольные деформации с циклически изменяющимся направлением. Это означает, что матрица композитного материала, являющаяся самым уязвимым его звеном, в упомянутом случае эксплуатации будет находиться в условиях циклически изменяющегося сложного напряжённо-деформированного состояния, а в некоторых случаях и знакопеременного. Одновременно известно, что в большинстве случаев, именно разрушение матрицы, а не разрушение армирующих волокон является причиной преждевременного выхода из строя изделий из композитов [9].

Для обеспечения облегчённых условий эксплуатации упомянутых выше трубчатых изделий, а также долговечности их безотказной работы, целесообразно ставить ограничение на величину внутреннего рабочего давления например, соблюдать условие  $\sigma_{\theta\theta} \leq 0,45\sigma_{\theta\theta}^B$ , т.е. до уровня  $\sigma_{\theta\theta}$ , при котором изделия пока что подвергаются только циклическому укорочению (фиг.6).

Сведение к минимуму отрицательных явлений, приводящих к скорому выходу из строя тонкостенных трубчатых изделий из тканевых пластиков, эксплуатирующихся в условиях пульсирующего внутреннего гидростатического давления, можно достичь и конструктивным методом решения задачи. А именно, для таких элементов целесообразно предусмотреть как кольцевых, так и симметрично, относительно оси, расположенных рёбер жёсткости таким образом, чтобы обеспечивалось максимальное сопротивление относительно возникновения как радиальных, так и продольных деформаций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шнейдерович Р.М. Прочность при статическом и повторно-статическом нагружениях. М.: Машиностроение, 1968. 343с. (Shneyderovich R.M. Strength at the static and repeated-static loading. M.: Mashinostroenie, 1968, 343p.) (in Russian)
2. Лимонов В.А., Разин А.Ф., Микельсон М.Я. Прочность и сопротивление усталости композитов на основе ткани при комбинированном воздействии статических напряжений сдвига и циклических напряжений сжатия. //Мех. композит. мат. 1992, №3, с.332-340. (Limonov V.A., Razin A.F., Mikelson M.Ja. Strength and fatigue strength of composites based on the fabric subjected to the

- combined static stresses of shear and cyclic stresses of compression. // Mech of composite materials. 1992, №3. С. 332-340.)(in Russian)
3. Карапетян К.А., Саркисян Н.Е., Хачикян А.Г. Прочность и деформативность слоистых пластиков при сложном нарушении.// Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 1998, Т. LI, №2. С.127-132. (Karapetyan K.A., Sarkisyan N.E., Hachikyan A.G. Strength and deformability of layered plastics subjected to complex loading. // Proc. of NAS RA and SEUA. Tech. Sci. Ser. 1998. vol. LI. №2. P. 127-132.)(in Russian)
  4. Karapetyan K.A. The influence of axial tension on the strength, creeping deformations and dissipative proprieties of glass reinforced tubes under the shear conditions.// Proc. of VI International conference. «The problems of dynamics of interaction of deformable media». September 21-26, Goris-Stepanakert: 2008. P. 232-236,
  5. Мартиросян М.М. Получение прессованных тонкостенных труб из стеклопластиков.// Промышленность Армении. 1971. №10. С.56-57. (Martirosyan M.M. Manufacturing of the pressed thin-walled tubes from glass-plastic. // Promishlennost Armenia. 1971. №10. P. 56-57.) (in Russian)
  6. Мартынова А.А., Ятченко О.Ф., Васильев А.В. Технология изготовления тканей. М.: Академия, 2007, 304с. (Martinova A.A., Jatchenko O.F., Vasilev A.V. Technology of fabric manufacture. M.: Academia, 2007. 304p.) (in Russian)
  7. Карапетян К.А. Влияние начальной разориентации армирования на механическое поведение слоистых стеклопластиков при статических нагружениях. // Докл. НАН Армении. 2005. Т.10.5. №3. с. 249-255. (Karapetyan K.A. Influence of the initial reinforcement disorientation on the mechanical behavior of layered glass-plastics subjected to static loading. // Reports of NAS RA. 2005. vol. 105. №3. P. 249-255.) (in Russian)
  8. Карапетян К.А., Хачикян А.Г. Ползучесть тонкостенных стеклопластиковых труб, подверженных кручению. //Изв. НАН Армении Механика. 2000. Т.53. №2. С. 66-70. (Karapetyan K.A., Hachikyan A.G. Creepage of thin-walled glass-plastic tubes subjected to torsion. // Proc. of NAS RA. Mechanics. 2000. vol. 53. №2. P. 66-70.)(in Russian)
  9. Hahn H.T. A Note on Determination of the Shear Stress- Strin Response of Unidirectional Composites // J.Compos.Marer. 1973. №7. P.383-386.

#### **Сведения об авторах:**

**Карапетян Корюн Ашотович** – д.т.н., зав. лабораторией экспериментальных исследований Института механики НАН Армении, Ереван, Армения,  
Тел.: (+374 10) 524852; E-mail: [koryan@mechins.sci.am](mailto:koryan@mechins.sci.am)

**Валесян Сона Шантовна** – к. т.н., научн. сотр. Института механики НАН Армении, Ереван, Армения; E-mail: [svalesyanyan@yahoo.com](mailto:svalesyanyan@yahoo.com)

**Мурадян Нарине Сергеевна** – инженер Ин-та механики НАН Армении, Ереван, Армения. Тел.: (+374 10) 527831; E-mail: [narine-muradyan@mail.ru](mailto:narine-muradyan@mail.ru)

Поступила в редакцию 20. 12. 2018 г.