

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ТРЕХСЛОЙНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ОБОЛОЧЕК С КОМПОЗИЦИОННЫМИ СЛОЯМИ

*З.Д.Абдуллаев студунты: Холматов Ж.Б. Ахмедова С.О.
Кокандский филиал Ташкентского государственного технического
университета имени И.Каримова*

Конструирование слоёв с различными физико-механическими свойствами позволяет обеспечивать надежную работу в неблагоприятных производственных условиях. Применение слоистых комбинированных конструкций существенно сокращает расход материалов, повышает надежность и долговечность конструкций и обладают различными положительными свойствами. Несущие слои этих конструкций предназначены для восприятия основной части действующей нагрузки. Армирующие слои одновременно повышают несущую способность, долговечность, отпадает необходимость дополнительной защиты и других нежелательных воздействий.

Прочность и деформативности трёхслойных комбинированных оболочек с композиционными слоями и исследование устойчивости таких конструкций является важной и сложной задачей современной механике и приобретает всё большее практическое значение. Подобные комбинированные конструкции с применением композиционных материалов обладающие такими ценными свойствами, как лёгкость, высокая транспортабельность, химическая стойкость, высокая прочность, с каждым годом находят всё более широкое применение в различных отраслях промышленности.

Клеевые швы между слоями служат для обеспечения монолитности конструкций и существенно влияют на перераспределение усилий между слоями. При расчете на прочность и устойчивость комбинированных конструкций, учет влияния клеевого слоя особо важен в случаях, когда конструкция подвержена температурным воздействиям или когда имеется опасность потери прочности и устойчивости трёхслойных оболочек.

Рассматриваемые комбинированные трехслойные оболочки состоят из материалов существенно различными физико-механическими свойствами, что позволяет обеспечить надежную работу систем в неблагоприятных производственных условиях. Защита таких конструкций из композиционных материалов обеспечивает необходимой долговечностью, высокими эксплуатационными свойствами и коррозионной стойкостью к воздействию агрессивных сред .

В работе излагаются результаты исследования прочности трёхслойных оболочек слоев учтены межслоевые сдвиги и другие механические характеристики, что позволяет оценить прочность и деформативность с достаточно высокой точностью для инженерных задач.

При решении задачи прочности многослойных оболочек за основу принимаются гипотезы, сформулированные С.А.Амбарцумяном [1,2] как гипотезы уточненной теории. В качестве примера рассматривается комбинированные оболочки, состоящие из трех слоев, связанных между собой податливыми тонкими клеевыми швами, находящимися под действием внешних статических нагрузок.

В работе рассматривается комбинированная оболочка, слои которой связанных между собой податливым тонким клеевыми швами $\delta_{ш1}$, $\delta_{ш2}$ находящиеся под действием внешних нагрузок (рис-1).

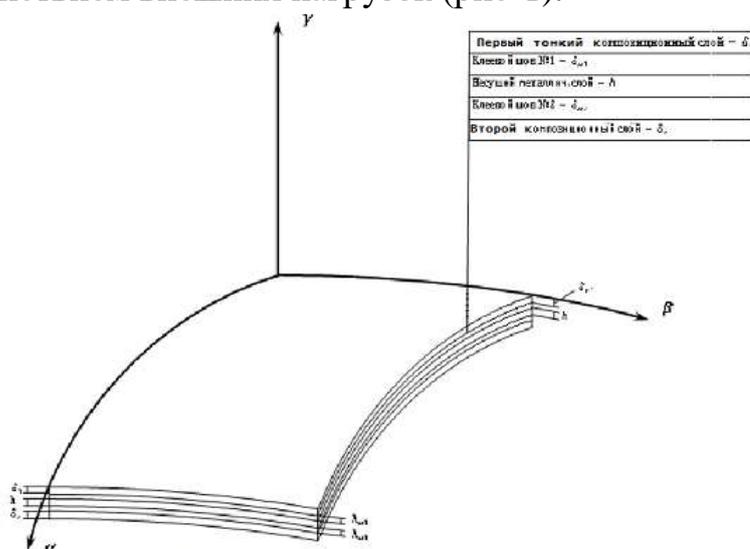


Рис.1. Трёхслойная комбинированная оболочка с внешними композиционными слоями.

Напряженно-деформированное состояние комбинированных оболочек определяются при следующих допущениях:

- 1) толщины ортотропных слоёв постоянные и оболочка испытывает только упругие деформации;
- 2) толщина несущего слоя значительно больше армирующего ($h > \delta$);
- 3) касательные напряжения $\tau_{\alpha\gamma}^{(i)}$, $\tau_{\beta\gamma}^{(i)}$, ($i=1,2,3$) – или соответствующие им деформации $e_{\alpha\gamma}^{(i)}$, $e_{\beta\gamma}^{(i)}$ по толщине оболочки меняются по заданному закону [1];
- 4) нормальное к срединной поверхности оболочки перемещение не зависит от координаты γ ;
- 5) давление между слоями отсутствует ($\sigma_\gamma=0$).

Считается также, что между двумя несущими и армирующими слоями находится тонкий склеивающий слой, который работает только на сдвиг в вертикальной плоскости. Склеивающий слой не воспринимает ни растягивающих, ни изгибных напряжений. Касательные напряжения действующие в этом слое, передаются на несущий и армирующий слои. Закон распределения этих напряжений в слоях может быть принят линейным, так чтобы удовлетворялись граничные условия для касательных напряжений на верхней и нижней поверхностях.

В связи с этим касательные напряжения имеют следующие аналитические выражения:

а) в несущем слое

$$\tau_{\alpha\gamma}^{(i)} = \tau_{1,2,3}^{(i)}(\alpha, \beta) \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{\gamma}{h}\right) \quad (1)$$

б) в армирующем слое

$$\tau_{\alpha\gamma}^{(i)} = \tau_{1,2,3}^{(i)}(\alpha, \beta) \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{\gamma}{\delta}\right) \quad (2)$$

Тогда, принимая во внимание принятые гипотезы имеем:

$$e_{\gamma} = 0; U_{\gamma} = \omega(\alpha, \beta); \quad (3)$$

Деформации сдвига несущего слоя можно записать в виде:

$$e_{\alpha\gamma}^{(1)} = 0,5 \left(\frac{h^2}{4} - \gamma^2\right) \Phi_1(\alpha, \beta) + \left(0,5 - \frac{\gamma}{h}\right) \frac{\tau_1(\alpha, \beta)}{G_{\alpha\gamma}^{(1)}} \quad (4)$$

$$e_{\beta\gamma}^{(1)} = 0,5 \left(\frac{h^2}{4} - \gamma^2\right) \Phi_2(\alpha, \beta) + \left(0,5 - \frac{\gamma}{h}\right) \frac{\tau_2(\alpha, \beta)}{G_{\beta\gamma}^{(1)}} \quad (5)$$

Деформации сдвига армирующих слоёв:

$$e_{\alpha\gamma}^{(2)} = \left(\frac{1}{2} + \frac{\gamma_1}{\delta_1}\right) \frac{1}{G_{\alpha\gamma}^{(2)}} \cdot \tau_1(\alpha, \beta) \quad (6)$$

$$e_{\beta\gamma}^{(2)} = \left(\frac{1}{2} + \frac{\gamma_1}{\delta_1}\right) \frac{1}{G_{\beta\gamma}^{(2)}} \cdot \tau_2(\alpha, \beta) \quad (7)$$

$$e_{\alpha\gamma}^{(3)} = \left(\frac{1}{2} + \frac{\gamma_1}{\delta_2}\right) \frac{1}{G_{\alpha\beta}^{(3)}} \cdot \tau_3(\alpha, \beta) \quad (8)$$

$$e_{\beta\gamma}^{(3)} = \left(\frac{1}{2} + \frac{\gamma_1}{\delta_2}\right) \frac{1}{G_{\beta\gamma}^{(3)}} \cdot \tau_3(\alpha, \beta) \quad (9)$$

В более мощном, несущем слое полагаем наличие сдвигов возникающих за счёт действия поперечной силы и определенных функциями:

$$\Phi_1(\alpha, \beta), \Phi_2(\alpha, \beta).$$

Здесь h, δ – толщина несущего и армирующего слоёв;

$\Phi_i = \Phi_i(\alpha, \beta)$ – произвольные искомые функции сдвига;

$\tau_i = \tau_i(\alpha, \beta)$ – искомые касательные напряжения;

$G_{ik}^{(1)}, G_{ik}^{(2)}, G_{ik}^{(3)}$, – модули сдвигов первого, второго и третьего слоев
($i = 1, 2, 3; k = 3$).

Координаты γ имеют следующие границы изменения :

$$\text{для первого слоя} \quad -\frac{h}{2} \leq \gamma \leq +\frac{h}{2};$$

$$\text{для второго слоя} \quad -\frac{\delta_1}{2} \leq \gamma_1 \leq +\frac{\delta_1}{2};$$

$$\text{для третьего} \quad -\frac{\delta_2}{2} \leq \gamma_2 \leq +\frac{\delta_2}{2}$$

Для получения основных уравнений деформирования трёхслойной оболочки, с учетом поперечного сдвига и податливости клеевого шва использован вариационный принцип Лагранжа который служит основой для различных приближенных методов в том числе для решения комбинированных ортотропных оболочек с межслоевыми сдвигами. При определении НДС оболочек варьировались модули сдвига и толщина склеивающего шва и исследовано влияние изменения толщин несущих слоёв.

Результаты расчета приведены в виде графиков (рис.2) изменения напряжений в слоях ($\sigma_\alpha^{(1)}, \sigma_\beta^{(1)}, \sigma_\alpha^{(2)}, \sigma_\beta^{(2)}, \sigma_\alpha^{(3)}, \sigma_\beta^{(3)}$) и шве ($\tau^{(i)}$), а также функций сдвига Φ_1 и прогибов W .

Работа носит характер подробного численного исследования. В результате расчета получены зависимости, позволяющие оценить влияние межслоевого деформации сдвига и механические характеристики слоистых оболочек. Выполнен расчёт при следующих параметрах: толщина металлического слоя $h=0,8$ см, толщина стеклопластиковых слоев $\delta_1=0,25$ см, $\delta_2=0,3$ см.

Из полученных зависимостей видно, что чем меньше величина модуля сдвига шва по сравнению со слоем ($G_{шв} < G_i^{(1)}, G_{шв} < G_i^{(2)}, G_{шв} < G_i^{(3)}$), тем влияние податливости шва на НДС трёхслойных оболочек сказывается больше. Увеличение модуля сдвига шва 10 раз (от 50 до 500 МПа) изменяет напряжение в металле на 5,2%, а в армирующем слое на 8,5%.

При более высоком модуле сдвига шва ($G_{\text{шпк}} = 5 \cdot 10^2$ МПа), увеличение модуля сдвига шва в 10 раз до $5 \cdot 10^3$ МПа изменяет напряжение $\sigma_{\beta}^{(2,3)}$ лишь на 0,09%.

Таким образом, можно отметить, что модуль сдвига шва значительно меньше влияет на НДС трёхслойных металлических оболочек с армирующим слоем при значениях модулей сдвига шва и слоёв близких по величине.

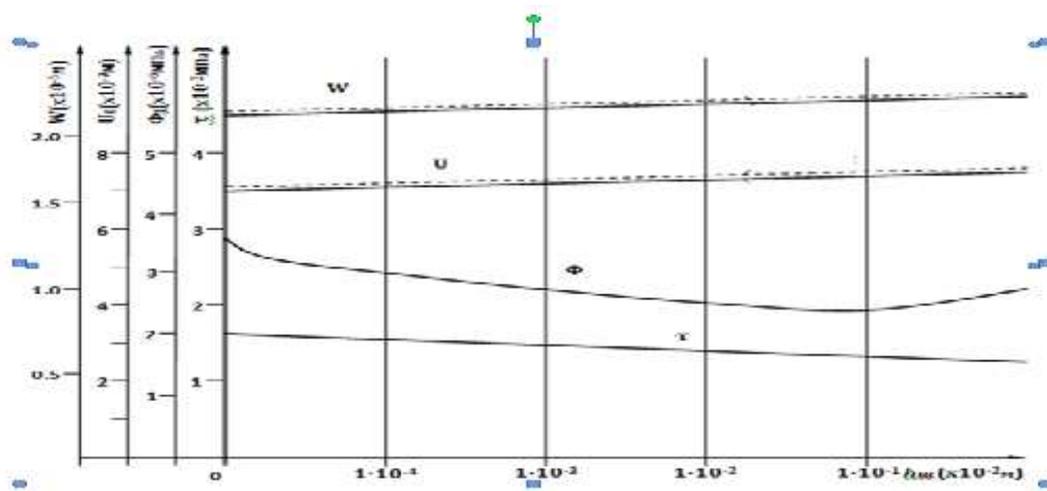


Рис.2. Зависимости между перемещениями, функцией сдвига, касательными напряжениями и модулями сдвигов комбинированной оболочки.

Результаты расчета приведены в виде графиков (рис.2) изменения напряжений в слоях ($\sigma_{\alpha}^{(1)}, \sigma_{\beta}^{(1)}, \sigma_{\alpha}^{(2)}, \sigma_{\beta}^{(2)}, \sigma_{\alpha}^{(3)}, \sigma_{\beta}^{(3)}$) и шве ($\tau^{(i)}$), а также функций сдвига Φ_1 и прогибов W .

Из полученных зависимостей видно, что чем меньше величина модуля сдвига шва по сравнению со слоем ($G_{\text{шпк}} < G_i^{(1)}, G_{\text{шпк}} < G_i^{(2)}, G_{\text{шпк}} < G_i^{(3)}$), тем влияние податливости шва на НДС трёхслойных оболочек сказывается больше. Увеличение модуля сдвига шва 10 раз (от 50 до 500 МПа) изменяет напряжение в металле на 5,8%, а в армирующем слое на 7,5%.

При более высоком модуле сдвига шва ($G_{\text{шпк}} = 5 \cdot 10^2$ МПа), увеличение модуля сдвига шва в 10 раз до $5 \cdot 10^3$ МПа изменяет напряжение $\sigma_{\beta}^{(2,3)}$ лишь на 0,08%.

Результаты расчета показали, что увеличение $G_{\text{шпк}}$ от 50 МПа до 500 МПа приводит к уменьшению напряжений $\sigma_{\alpha}^{(1)}$ в стеклопластиковом слое на 5,3-5,8%, при этом напряжение в металлическом слое увеличивается на 8,6%.

В работе показано, что учет межслойных сдвигов слоев и податливости клеевого шва существенно влияет на напряженно-деформированное состояние комбинированных трёхслойных оболочек.

Литература

1. Амбарцумян С.А. Общая теория анизотропных оболочек. изд. "Наука" гл. ред. ф.м.л. м, 1974 с 446.
2. Дусматов, А. Д., Ахмедов, А. Ё., & Абдуллаев, З. Ж. (2021). Температурная задача двухслойных цилиндрических оболочек с композиционными защитными слоями. *Scientific progress*, 2(7), 343-348.
3. Дусматов, А. Д., Гапаров, К. Г., Ахмедов, А. Ё., & Абдуллаев, З. Ж. (2021). Влияния на физико-механические свойство двухслойных цилиндрических оболочек в напряженно-деформированном состоянии. *Scientific progress*, 2(8), 528-533.
4. Дусматов, А. Д., Ахмедов, А. У., Маткаримов, Ш. А., & Мамажонов, Б. А. У. (2022). Междуслоевые сдвиги двухслойных комбинированных бетоностеклопластиковых плит. *Universum: технические науки*, (1-1 (94)), 78-82.
5. Дусматов, А. Д., Ахмедов, А. Ё., Абдуллаев, З. Ж., & Гапаров, К. Г. (2022). МЕЖДУСЛОЕВЫЕ СДВИГИ ДВУХСЛОЙНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ПЛАСТИН И ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ УСАДКИ КОМПОЗИТНЫХ СЛОЕВ. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 2(4), 133-141.
6. Dusmatov, A. D., Akhmedov, A. U., & Mavlonova, O. U. (2022). МЕЖДУСЛОЕВЫЕ СДВИГИ ДВУХСЛОЙНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАГРУЗОК. *Nazariy va amaliy tadqiqotlar xalqaro jurnali*, 2(2), 90-97.
7. Касимов, И. И., Дусматов, А. Д., Ахмедов, А. У., & Абдуллаев, З. Д. (2020). Расчет асфальтобетонных дорожных покрытий. Журнал Технических исследований, 3(1).
8. Касимов, И. И., Дусматов, А. Д., & Ахмедов, А. Урмонжонович., Абдуллаев ЗД Исследование состояния двухслойных осесимметричных цилиндрических оболочек на физико-механические характеристики. *Tadqiqot uz. ISSN*, 2181-9696.
9. Касимов, И. И., Дусматов, А. Д., Ахмедов, А. У., & Абдуллаев, З. Д. (2019). Исследование состояния двухслойных осесимметричных цилиндрических оболочек на физико-механические характеристики. *Техник тадқиқотлар журнали*, (2).
10. Kasimov, I. I., Dusmatov, A. D., Akhmedov, A. U., & Abdullaev, Z. J. (2019). The research of two-layers axially symmetrical cylindrical clad layers on their physic mechanical properties. *Журнал Технических исследований*, (2).
11. Дусматов, А. Д., Ахмедов, А. У., Маткаримов, Ш. А., & Абдуллаев, З. Д. (2022). ПРОЧНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ ДВУХСЛОЙНЫХ ПЛИТ С УЧЕТОМ ПОДАТЛИВОСТИ КЛЕЕВОГО ШВА. Главный редактор: Ахметов Сайранбек Махсутович, д-р техн. наук; Заместитель главного редактора: Ахмеднабиев Расул Магомедович, канд. техн. наук; Члены редакционной коллегии, 43.