

ЕФЕКТ ВРАХУВАННЯ ПОПЕРЕЧНОГО ОБТИСКУ ПРИ РОЗРАХУНКУ НАПРУЖЕНЬ В РОЗГАЛУЖЕНИХ ОБОЛОНКАХ ОБЕРТАННЯ

Беспалова О.І., Урусова Г.П.

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка
НАНУ, м. Київ, Україна

Оцінка міцності та надійності широко розповсюджених в сучасній техніці пружних конструкцій у вигляді розгалужених оболонок обертання (елементи корпусів турбін, тонкостінні вали з насадженими на них шаруватими дисками, труби з підкріплюючими пластинами, резервуари з циліндричними або конічними опорами) потребує знання адекватної картини їх деформування. Справа в тому, що в місцях розгалуження конструкції, де контактують різні за своїми властивостями оболонки, виникають значні локалізовані напруження. В переважній же більшості робіт цієї області використовується класична модель Кирхгофа–Лява і значно рідше зсувна модель типу Тимошенко, де нехтується нормальною деформацією за товщиною і це заздалегідь призводить до наближеного опису напружено–деформованого стану. В даному повідомленні для відтворення в рамках двовимірної постановки суто просторових ефектів в місцях контакту оболонок застосовано неklasичну модель, що враховує не тільки поперечні зсуви, а й поперечний обтиск.

Згідно з прийнятою моделлю переміщення оболонки за товщиною апроксимуються у такому вигляді [1]:

$$u_s(s, \theta, \gamma) = u(s, \theta) + \gamma \psi_s(s, \theta),$$

$$u_\theta(s, \theta, \gamma) = v(s, \theta) + \gamma \psi_\theta(s, \theta),$$

$$u_\gamma(s, \theta, \gamma) = w(s, \theta) + \gamma \psi_\gamma(s, \theta),$$

де s – координата, що змінюється за меридіаном–твірною оболонки, θ – центральний кут в нормальному перерізі $s = \text{const}$, γ – координата, що змінюється за нормаллю до деякої вибраної поверхні $\gamma = 0$; u_s, u_θ, u_γ – переміщення довільної точки оболонки за напрямками координатних осей, u, v, w – відповідні переміщення точок поверхні $\gamma = 0$; ψ_s, ψ_θ – повні кути повороту прямолінійного елемента, ψ_γ – поперечна нормальна деформація.

Двовимірною крайовою задачею в неоднорозв'язній області, що відповідно до прийнятої моделі описує напружений стан оболонкової системи, розв'язується з використанням розвинення в ряди Фур'є за коловою координатою та чисельного методу ортогональної прогонки з автоматичним виконанням умов контакту в точках розгалуження меридіану.

Проілюструємо ефект від врахування поперечного обтиску на прикладі фрагмента реальної конструкції, що моделює частину циліндричного трубопроводу з зовнішніми кільцевими пластинами (рис.1).

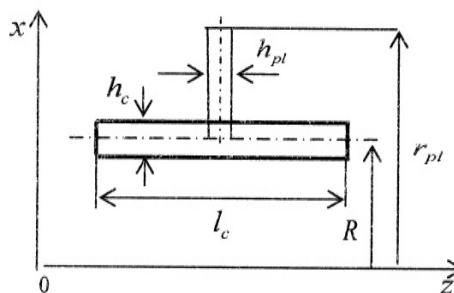
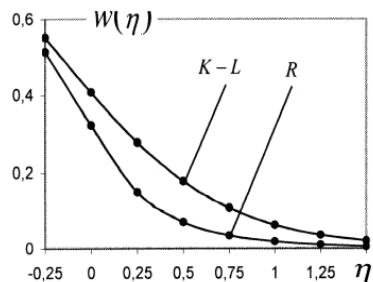


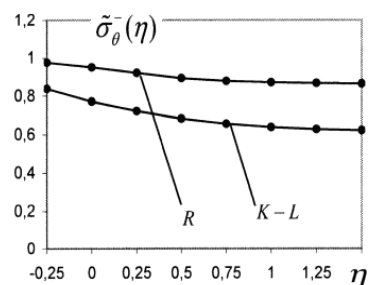
Рис. 1. Розрахунковий фрагмент конструкції.

Аналіз проведено в залежності від відносної жорсткості пластини і циліндра, що характеризується параметром $\eta = \lg(E_{pl} / E_c) \in [-0,25; 1,5]$ (E_{pl}, E_c – модулі пружності пластини і циліндра, $E_c = \text{fixed}$). Порівнювались результати розрахунків напружено–деформованого стану на лінії контакту з пластиною $s = l_c / 2$ за прийнятою моделлю (R) і за моделлю Кирхгофа–Лява (K–L).

Ці дані наведені на рис. 2, а для прогину $\tilde{w} = w(l_c / 2) / w_0$ і на рис. 2, б для колового напруження на внутрішній поверхні циліндра $\tilde{\sigma}_\theta = \sigma_\theta(l_c / 2) / \sigma_{\theta 0}$, де $w_0, \sigma_{\theta 0}$ – відповідні значення для гладкого циліндра.



а



б

Рис. 2. Значення прогину (а) та колового напруження (б) на лінії контакту циліндра і пластини в залежності від їх відносної жорсткості η .

Як видно з рисунку, класична модель дає завищені значення прогину і занижені значення напружень, уточнення яких при врахуванні обтиску стає суттєвим зі збільшенням параметра жорсткості η . Так, при рівних жорсткостях циліндра і пластини ($\eta = 0$) уточнення прогину за прийнятою

моделью становить 20%, при $\eta=0,5-60\%$, а уточнения колових напружень може перевищувати 40%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Григоренко Я.М., Василенко А.Т., Голуб Г.П. Статика анизотропних оболочек с конечной сдвиговой жёсткостью. – Киев: Наук. 1987.– 216с.

КОНТАКТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИЗОТРОПНОЙ И ОРТОТРОПНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИИ СДВИГА

*Бесчетников Д.А., Львов Г.И.

Национальный Технический Университет «Харьковский Политехнический Институт», Украина

Введение. В настоящее время одним из наиболее эффективных способов ремонта магистральных трубопроводов без остановки эксплуатации является установка бандажей из полимерных композитных материалов [1]. Перспективность данной методики подтверждается грантом «INNOPIPES» по 7-й Рамочной программе Европейского Союза. В целях проекта [2] отмечается необходимость проведения детальных исследований, направленных на повышение эффективности методик ремонта, использующих композитные материалы, ввиду несовершенства существующих стандартов их применения.

Важным аспектом в повышении эффективности бандажирования является обеспечение допустимых отрывных усилий между элементами ремонтного соединения, либо их полное устранение. Появление отрывных усилий следует из анализа реализации возможных конфигураций контакта, в которых отсутствует полное соприкосновение бандажа и цилиндрической оболочки [3]. В данной работе для двух склеенных соосных цилиндрических оболочек из изотропного и ортотропного материалов выполняется исследование влияния параметров конструкции на реализацию отрывных контактных усилий.

Постановка задачи. Рассматриваемое ремонтное соединение представлено на рис.1. Труба моделируется как длинная изотропная оболочка, а бандаж – как ортотропная короткая оболочка. Для проведения расчетов, параметры конструкции принимались следующими: $R=505\text{мм}$, $h=10\text{мм}$, $h_b=10\text{мм}$, $L=100\text{мм}$, $P=6\text{ МПа}$. Для упругих постоянных оболочки использовались характеристики стали: $E=200\text{ ГПа}$, $\mu=0,3$. В качестве материала бандажа рассматривался стеклопластик со следующими механическими характеристиками: $E_1=18,6\text{ ГПа}$, $E_2=24,6\text{ ГПа}$, $E_3=6\text{ ГПа}$, $\mu_{12}=0,15$, $\mu_{13}=0,42$, $\mu_{23}=0,18$, $G_{12}=4\text{ ГПа}$, $G_{13}=3\text{ ГПа}$, $G_{23}=3\text{ ГПа}$, R – радиус срединной поверхности; h – толщина оболочки; h_b – толщина бандажа; $2L$ – длина бандажа; P – внутреннее давление.

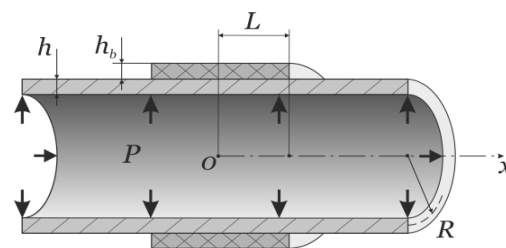


Рис.1 – Расчетная схема ремонтного соединения.

Для исследования отрывных усилий между склеенными оболочками, необходимо определить влияние параметров соединения на контактное давление. В точках, где осуществляется прижатие, контактное давление будет положительным. В точках, где возможно появление зазора – контактное давление станет отрицательным.

Решение и анализ результатов. Построение математической модели рассматриваемой конструкции выполнялось с использованием теории упругих оболочек типа Тимошенко [4], которая учитывает деформацию сдвига и позволяет получить более обоснованные результаты в контактных задачах.

При исследовании взаимодействия оболочек использовался метод сопряжения. Расчетная схема разбивалась на два участка: I ($0 \leq x \leq L$) и II ($x > L$). Для каждого участка записывалась система дифференциальных уравнений относительно прогибов и углов поворота оболочек. Полученные в результате интегрирования решения сопрягались с помощью граничных условий. Ниже представлена полученная функция контактного давления P_k :

$$P_k = -\frac{5}{6} G_{13} h_b \left[\frac{d^2 W^1}{dx^2} + \frac{d\gamma^b}{dx} - 2g_b^2 W^1 \right] \quad (1)$$

где, W^1 – прогиб оболочки на первом участке, γ^b – угол поворота в бандаже, $2g_b^2$ – функция, зависящая от упругих характеристик бандажа и его кривизны.

Для контрольных точек $x=0$ и $x=L$, были построены графики зависимостей контактного давления от геометрических параметров конструкции.

Выводы. На основе анализа полученных результатов, были сделаны следующие выводы:

- увеличение длины бандажа стабилизирует контактное давление и не приводит к появлению зон с отрицательным давлением;
- увеличение толщины бандажа приводит к появлению отрывных усилий.

Результаты данной работы могут быть полезны при проектировании бандажей из ортотропных композитных материалов, которые используются для неразрушающего ремонта магистральных трубопроводов.

ЛІТЕРАТУРА

1. Md Shamsuddoha, Md Maiunul Islam, at alias. Effectiveness of using fibre-reinforced polymer composites for underwater steel pipeline repairs // Composite structures: Elsevier, 2013. – rel.100 – P.40–54.