



МГТУ имени Н.Э. Баумана
Студенческая научная весна
Аэрокосмический факультет
май 2020



7. АСИМПТОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕЛИНЕЙНОГО ТРЕНИЯ МЕЖДУ СЛОЯМИ В ТОНКОЙ УПРУГОЙ ПЛАСТИНЕ ПРИ ИЗГИБЕ

Автор: студентка гр. АКЗ-81Б
Маковская *Маргарита Олеговна*
Руководители:
д.ф.-м.н., профессор каф. ФН-11
Димитриенко *Юрий Иванович*
к.ф.-м.н., доцент каф. ФН-11
Губарева *Елена Александровна*

Москва, 2020

Проблема

У любых многослойных материалов присутствует проблема трения между слоями, которая возникает при неидеальном контакте слоёв. Но также данная проблема существует и у слоёв с идеальным контактом в начальный момент времени, который переходит в контакт с наличием трения (неидеальный контакт) при определённых нагрузках на пластину. Так возникает проблема определения таких условий, при которых происходит данный переход.

Задача

Целью исследования является изучение возникновения трения между слоями при идеальном контакте, а также определение области возникновения трения и критического давления, при котором возникает трение между слоями.

Задачей данного исследования является моделирование двухслойной пластины с идеальным контактом между слоями и определение способа нахождения области возникновения трения и критического давления.

Актуальность проблемы

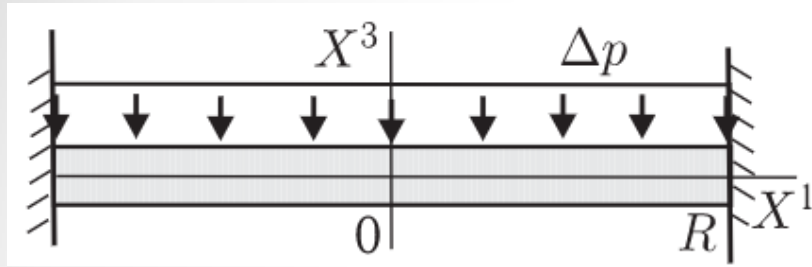
В технике часто используются многослойные композиционные материалы, благодаря своей высокой прочности, жесткости, низкой плотности, высокой усталостной прочности. Многие фантастические конструкции стали осуществимы только после создания композиционных материалов. Так, например, космический лифт был фантастикой с 1859 года и стал возможен с изобретением многослойного материала – композита. Между любыми слоями многослойного материала существует условие контакта, которое может быть идеальным и неидеальным. В отдельности данные условия контакта были рассмотрены в работах [1,2], но случай перехода идеального контакта в неидеальный мало изучен, поэтому изучение данного перехода является актуальным.

Методы исследования

Для поставленных целей нам необходима трёхмерная задача теории упругости и метод асимптотического осреднения (метод гомогенизации) для тонких пластин.

Основная часть

Рассматривается трехмерная тонкая двухслойная анизотропная пластина



В качестве исходной рассматривается задача линейной теории упругости [3]:

$$\begin{cases} \nabla \sigma + \rho \bar{f} = 0 \\ \varepsilon = \frac{1}{2} (\nabla \otimes \bar{u} + \nabla \otimes \bar{u}^T) \\ \sigma = {}^4C \cdot \varepsilon \end{cases} \quad (1)$$

Граничные условия при идеальном контакте слоёв: $\Sigma_S : [\sigma] = 0, [\bar{u}] = 0$

$$\Sigma_{3+} : \sigma = S_e, \Sigma_{3-} : \sigma = S_e \quad (2)$$

$$\Sigma_T : \bar{u} = \bar{u}_e$$

$\Sigma_{3\pm} = \{\tilde{x}_3 = \pm \frac{h}{2}\}$ – внешняя и внутренняя поверхности пластины,

Σ_T – торцевая поверхность пластины,

Σ_S – поверхность контакта слоев,

h – суммарная толщина двухслойной пластины,

σ – тензор напряжения,

ε – тензор малых деформаций,

$\bar{u}$ – вектор перемещений,

4C – тензор модулей упругости.

Решение задачи (1), (2) ищется в виде асимптотического разложения [1,2]. С помощью полученного решения из условия возможного неидеального контакта по закону Кулона-Амонтона:

$$\sigma_T = \sigma_T^* \quad (3)$$

где

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_{13}^2 + \sigma_{23}^2}$$

$$\sigma_T^* = \mu |\sigma_{33}|$$

μ - коэффициент скольжения при трении, определяем область начала трения, которой соответствует критическое давление пластины при изгибе.

Результаты

- решена задача (1), (2) и найден способ определения области возникновения трения и критического давления, при котором возникает трение между слоями;
- ограничения исследования: закон Кулона-Амонтона (3) применим только при малых значениях нормального давления;
- на практике полученные расчёты можно использовать для определения максимального давления, при котором не будет появляться трение между пластинами с идеальным контактом;
- в дальнейшем следует определить коэффициент скольжения при трении, которое образуется под критическим давлением между слоями.

Список литературных источников

1. Димитриенко Ю.И., Губарева Е.А., Яковлев Д.О. Асимптотическая теория многослойных упругих пластин. М:Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 31 с.
2. Димитриенко Ю.И., Губарева Е.А. Асимптотическая теория тонких двухслойных упругих пластин с проскальзыванием слоев // Математическое моделирование и численные методы. 2019. № 1. С. 3–26.
3. Димитриенко Ю.И. Основы механики твердого тела/ Механика сплошной среды.Т.4. Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2013. 624 с.

Спасибо за
внимание!