

РАЗРАБОТКА НОВОГО МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ АДГЕЗИОННОГО КОНТАКТА

Якушина С.И., Преснецова В.Ю., Герасимова Н.М.

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орел

Ключевые слова: математическая модель, адгезионный контакт, поврежденность.

Аннотация: В основу рассматриваемой модели положена проблема поврежденности адгезионного контакта. При разработке модели учтены причины нарушения сплошности адгезионного контакта (свойства контактирующих материалов и действие внешних сил) и потенциальное взаимодействия частиц упругой среды. Результаты важны для объяснения и количественной оценки причин расслоения слоистых композитов.

DEVELOPMENT OF A NEW METHOD FOR MODELING ADHESION CONTACT

Yakushina S.I., Presnetsova V.Yu., Gerasimova N.M.

Oryol State University named after I.S. Turgenev, Oryol

Keywords: mathematical model, adhesive contact, damage.

Abstract. The model under consideration is based on the problem of damage to the adhesive contact. When developing the model, the reasons for the discontinuity of the adhesive contact (properties of the contacting materials and the action of external forces) and the potential interaction of particles of the elastic medium were taken into account. The results are important for explaining and quantifying the reasons for the delamination of laminated composites during their operation in variable temperature fields.

Ключевым понятием модели в рассматриваемой работе является поврежденность, определяемая относительной площадью несплошности адгезионного контакта [1]. При воздействии на покрытие на растягиваемой основе возникает сеть параллельных между собой трещин [2].

Рассматриваемая расчетная модель позволяет рассчитать связь теоретического и реального пределов прочности. В основу положено представление о ячеистой структуре материала. В каждой элементарной ячейке действует ориентированная перпендикулярно трещине растягивающая ее сила, возникает однородное напряженно-деформированное состояние. Модель построена непосредственно перед полным разрушением, в момент достижения теоретического предела прочности. Для расчетов использованы осредненные значения напряжений и деформаций по каждой структурной ячейке. Плоскость трещины A_{cr} представлена сетью периодически повторяющихся трещин. Между краями соседних трещин имеется неповрежденный перешеек [3].

Основные положения модели.

1. Рассчитываем напряжение в предположении об отсутствии микротрещины.

2. Трещина раскрылась, шириной раскрытия пренебрегаем.

3. Каждая ячейка – куб с длиной стороны, равной l . Рассматриваем сечение в левом переднем углу срединного сечения каждой ячейки.

4. Получаем два основополагающих соотношения модели. Они связывают размеры ячейки, значения напряжений и размеры трещины внутри нее.

На участке $(1-\alpha)$ упругая энергия преобразуется в поверхностную энергию двух берегов трещины. При этом в выражении:

$$[w]_{(1-\alpha)(1-\alpha)} = \frac{4W_{saf}}{2h}, [w]_{\alpha(1-\alpha)} = 0, \quad (1)$$

на участке α средние напряжения будут равны теоретическому пределу прочности σ_t . Поэтому:

$$[w]_{\alpha\alpha} = \frac{\sigma_t^2}{2E}. \quad (2)$$

Для определения параметра α тогда используем полученное балансовое равенство:

$$\frac{\sigma_u^2}{2E} = (1-\alpha)^2 \frac{2W_{saf}}{h} + \alpha^2 \frac{\sigma_t^2}{2E}. \quad (3)$$

В соответствии с определением

$$\alpha = \frac{l^2 - l_{cr}^2}{l^2}. \quad (4)$$

С учетом сделанных допущений выражение получаем формулу:

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_t^2 h}{2W_{saf} E}}. \quad (5)$$

В полученной системе соотношений (3) – (5) подлежат определению величины σ_u , α , l_{cr} , l . Значения σ_t и W_p можно определить путем вычислений. Необходимо, что бы две из неизвестных величин определялись экспериментально (в представленной модели $\sigma_u \approx 0,01\sigma_t$, $l \approx h$).

Из выражения (5) вытекает связь:

$$\frac{2W_{saf}}{l} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \left(\frac{\sigma_t^2}{2E} \right). \quad (6)$$

С ее учетом из (3) следует зависимость:

$$\sigma_u = \sigma_t \sqrt{\alpha} = \sigma_t \sqrt{1-\beta}. \quad (7)$$

Так как $\sigma_u \approx 0,01\sigma_t$, что свидетельствует о том, что параметр α имеет малую величину: $\alpha \approx 10^{-4}$, а также принимая во внимание равенство (6), получаем: $l \approx l_{cr}$. И тогда

$$l_{cr} \approx \frac{4W_{saf} E}{\alpha \sigma_t^2} = \frac{4W_{saf} E}{\sigma_u^2}. \quad (8)$$

Или

$$\sigma_u = \left(\frac{4W_{saf} E}{l_{cr}} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (9)$$

Полученные в работе результаты могут служить основой для объяснения и количественной оценки причин расслоения слоистых композитов при их эксплуатации в переменных температурных полях.

Список литературы

1. Преснецова В.Ю., Якушина С.И. Исследование проблемы поврежденности адгезионного контакта с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента // Информационные системы и технологии. – 2020. – № 5. – С. 30-35.
2. Волынский А. Л., Ярышева Л. М., Моисеева С. В., Баженов С. М., Бакеев Н. Ф. Новый подход к оценке механических свойств твердых тел экстремально малых и больших размеров // Российский химический журнал. Журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева. – 2006. – Т. 50. – № 5. – С. 126 – 133.
3. Каштанов А. В., Петров Ю. В. Энергетический подход к определению уровня мгновенной поврежденности // Журнал технической физики. – 2006. – Т. 76. – Вып. 5. – С. 71 – 75. doi: 10.1134/S1063784206050100

Сведения об авторах:

Якушина Светлана Ивановна – к.т.н., доцент кафедры технической физики и математики, ОГУ им. И.С. Тургенева,, г. Орел;

Преснецова Виктория Юрьевна – к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных систем и цифровых технологий, ОГУ им. И.С. Тургенева, г.Орел;

Герасимова Надежда Максимовна – студент, ОГУ им. И.С. Тургенева, г. Орел.