

Список литературы

- 1 Можаровский, В. В. О контактном взаимодействии жесткого индентора с армированным резиновым слоем с учетом явлений вязкоупругости / В. В. Можаровский // Полимерные материалы и технологии. – 2017. – Т. 3, № 2. – С. 70–79.
- 2 Можаровский, В. В. Прикладная механика слоистых тел из композитов / В. В. Можаровский, В. Е. Старжинский. – Минск : Наука, 1988. – 280 с.
- 3 Argatov, I. I. Asymptotic analysis of the substrate effect for an arbitrary indenter / I. I. Argatov, F. J. Sabina // Quart. J. Mech. Appl. Math. – 2013. – No. 66. – P. 75–95.

УДК 539.382

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ МАТЕРИАЛОВ И ШЕРОХОВАТОСТИ ИХ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ ФОТОГРАФИЙ

А. А. МОРГУНОВА, Л. Н. РАБИНСКИЙ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

В настоящей работе проведены комплексные исследования процессов деформации и разрушения алюминиевых образцов при статическом растяжении. Этапы экспериментально-алгоритмического исследования включали: подготовку установки и образцов, испытания последних на растяжение и получение соответствующих инструментальных данных, а также изучение оптико-механических параметров на основе анализа цифровых фотографий образцов до и после нагружения.

При этом используется метод оценки механизма разрушения материала по данным анализа фотоизображения по параметру интенсивности изображения с привлечением многофакторного анализа связи между интенсивностью изображения, шероховатостью поверхности, выявлением геометрии площади деформации при различных условиях эксплуатации.

В работе исследованы деформационные процессы в алюминиевых образцах при одноосном статическом растяжении методом корреляции цифровых изображений до и после разрушения. Установлена статистически значимая взаимосвязь интенсивности изображения поверхности исследуемого образца с параметрами ее шероховатости. Метод корреляции позволяет визуализировать только деформации поверхности образца, поэтому требует использования большего разрешения цифровых фотоснимков. Дальнейшие исследования видятся в установлении взаимосвязи оценки интенсивности деформаций образца, полученной с помощью площадной корреляции изображений, и его микротвердостью при испытаниях на растяжение.

Работа выполнена в Московском авиационном институте в рамках выполнения гранта РФФИ (проект №20-01-00517).

Список литературы

- 1 Астапов, А. Н. Методы анализа структуры материала с применением цифровой обработки изображения / А. Н. Астапов, В. В. Бодрышев, А. А. Моргунова // Динамическое деформирование и контактное взаимодействие тонкостенных конструкций при воздействии полей различной физической природы : тезисы докладов V Международного научного семинара. – М. : МАИ, 2016. – С. 18–21.
- 2 Бодрышев, В. В. Метод цифровой обработки изображений для идентификации размеров и концентраций фаз композиционных материалов / В. В. Бодрышев, А. А. Моргунова // Гагаринские чтения – 2017 : тезисы докладов XLIII Международной молодежной научной конференции. – М. : МАИ, 2017. – С. 348.
- 3 Бодрышев, В. В. Оценивание геометрических характеристик наноразмерных частиц оксидов металлов методом цифрового анализа изображений : тезисы докладов 16-й Международной конференции / В. В. Бодрышев, А. А. Моргунова // Авиация и космонавтика. – 2017. – М. : МАИ. – 2017. – С. 467–468.

УДК 539.376

ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ТЕРМОСИЛОВОМ ОСЕСИММЕТРИЧНОМ НАГРУЖЕНИИ КРУГОВОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ В СВОЕЙ ПЛОСКОСТИ

А. В. НЕСТЕРОВИЧ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Рассматривается осесимметричное деформирование трехслойной круговой пластины в своей плоскости, для которой принимаются кинематические гипотезы ломаной линии. Постановка задачи и ее решение проводятся в цилиндрической системе координат r, φ, z , связанной со срединной

плоскостью заполнителя. К срединной плоскости заполнителя приложена непрерывно распределенная нагрузка, проекции которой на оси координат: $p_r(r, \varphi)$, $p_\varphi(r, \varphi)$.

Уравнения равновесия в перемещениях упругой трехслойной пластины при деформировании в своей плоскости получены из принципа возможных перемещений Лагранжа:

$$a_1 \left(u_{r,rr} + \frac{u_{r,r}}{r} - \frac{u_r}{r^2} \right) = -p_r, \quad a_2 \left(u_{\varphi,r} + \frac{u_{\varphi,r}}{r} - \frac{u_\varphi}{r^2} \right) = -p_\varphi. \quad (1)$$

где a_i – коэффициенты, зависящие от температуры и определяемые через геометрические и упругие характеристики материалов слоев:

$$a_1 = \sum_{k=1}^3 \int_{h_k} \left(K_k(T_k) + \frac{4}{3} G_k(T_k) \right) dz, \quad a_2 = \sum_{k=1}^3 \int_{h_k} G_k(T_k) dz,$$

где $G_k(T_k)$, $K_k(T_k)$ – температурнозависимые модули сдвига и объемной деформации материалов слоев; k – номер слоя ($k=1, 2, 3$), запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования.

Решение системы уравнений (1) будет следующим:

$$u_r = C_1 r + \frac{C_2}{r} - \frac{1}{a_1 r_0^2} \int_0^r \int_0^r p_r dr dr, \quad u_\varphi = C_3 r + \frac{C_4}{r} - \frac{1}{a_2 r_0^2} \int_0^r \int_0^r p_\varphi dr dr, \quad (2)$$

где C_1, \dots, C_4 – константы интегрирования, определяемые из граничных условий.

В центре пластины перемещения должны быть конечными, в связи с этим $C_2 = 0$, $C_4 = 0$. При жесткой заделке контура пластины и при шарнирном опирании перемещения при $r = r_0$ равны нулю, поэтому

$$C_1 = -\frac{1}{a_1 r_0^2} \int_0^{r_0} \int_0^{r_0} p_r dr dr, \quad C_3 = -\frac{1}{a_2 r_0^2} \int_0^{r_0} \int_0^{r_0} p_\varphi dr dr.$$

При постоянных нагрузках p_r, p_φ константы C_1, C_3 будут

$$C_1 = \frac{p_r r_0}{3a_1}, \quad C_3 = \frac{p_\varphi r_0}{3a_2}.$$

В результате, перемещения (2) приводятся к виду

$$u_r = \frac{p_r r}{3a_1} (r_0 - r), \quad u_\varphi = \frac{p_\varphi r}{3a_2} (r_0 - r). \quad (3)$$

При равномерном растяжении – сжатии деформации будут одинаковы во всех слоях и определяться по формулам

$$\varepsilon_{rr} = u_{r,r} = \frac{p_r}{3a_1} (r_0 - 2r), \quad \varepsilon_{\varphi\varphi} = \frac{u_\varphi}{r} = \frac{p_\varphi}{3a_1} (r_0 - r), \quad \varepsilon_{r\varphi} = \frac{1}{2} \left(u_{\varphi,r} - \frac{u_\varphi}{r} \right) = -\frac{p_\varphi r}{6a_{13}}. \quad (4)$$

Численные результаты получены при нагрузках $p_r = 10^5$ Па, $p_\varphi = 10^5$ Па, распределенных по всей поверхности пластины. Материалы слоев Д16-Т – фторопласт-4–Д16-Т, относительные толщины $h_1 = 0.02$, $h_2 = 0.04$, $h_3 = 0.4$, радиус пластины $r_0 = 1$ м. При численной реализации решения (4) для описания зависимости параметров упругости материалов слоев от температуры использовалась формула Белла. Температуры слоев принимались однородными.

На рисунке 1 показано изменение вдоль радиуса пластины (a) – радиальных деформаций ε_{rr} , (φ) – тангенциальных деформаций $\varepsilon_{\varphi\varphi}$ и (σ) – сдвиговых деформаций $\varepsilon_{r\varphi}$ при различных температурах: 1 – $T_1 = 293$ К, 2 – $T_2 = 343$ К, 3 – $T_3 = 393$ К.

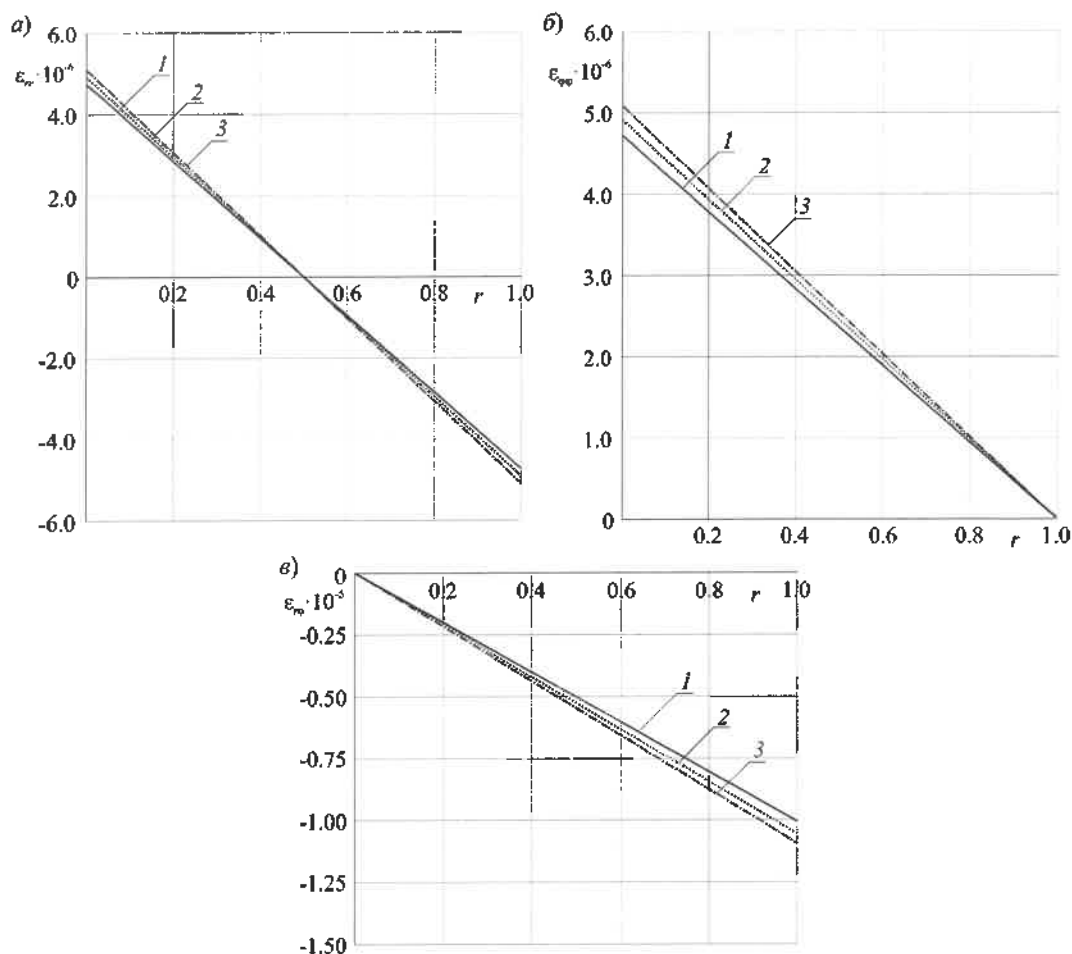


Рисунок 1 – Изменение деформаций вдоль радиуса пластины

Радиальные деформации на контуре достигают максимума по модулю, тангенциальные – максимума при $r=0$ и равны нулю при $r=1$; для сдвиговых деформаций обратная зависимость, где максимум по модулю достигнут при $r=1$. Отметим, что с ростом температуры значения деформаций по модулю растут во всех случаях. При нагреве на 50 К радиальные и тангенциальные деформации увеличиваются на 3,7%; при нагреве на 100 К – 7,3%. В сдвиговых деформациях при нагреве на 50 К увеличиваются на 4,6%; при нагреве на 100 К – 8,7%.

Выводы. Предложенная модель позволяет исследовать напряженно-деформированное состояние упругих трехслойных пластин при осесимметричном деформировании в своей плоскости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского Республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Т19РМ-089).

УДК 625.1.001.891.573

ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ ПЕТЛИ ДЛЯ РАЗВОРОТА ВАГОНОВ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ ЦЕНТРА ОКРУЖНОСТИ

С. П. НОВИКОВ, М. А. РУДЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

При обслуживании вагонов рабочего парка и использовании новых вагонов часто требуется произвести разворот подвижного состава. Одним из основных устройств для выполнения данной технологической операции является петлевой разворот. Методика расчета длины петли приведена в [1]. В [2] рассмотрен способ оптимизации длины подобных устройств. При традиционном подходе к сокращению длины петлевого разворота центр большой окружности петли обычно располагается