

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛОСКИХ ОБРАЗЦОВ С УСТАНОВЛЕННЫМИ ВТУЛКАМИ, ОХЛАЖДЕННЫМИ В ЖИДКОМ АЗОТЕ

Зеньков Е.В., Диденко П.А.

Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск

Ключевые слова: ремонтная втулка, натурный эксперимент, численное моделирование, оптическая система, линейные деформации, натяг.

Аннотация. В статье рассматривается методика определения напряженно-деформированного состояния в зоне круглого отверстия плоских образцов, изготовленных из алюминиевого сплава. Нагрузка в зоне отверстия пластины создается за счет температурного натяга от действия втулки, предварительно охлажденной в азоте и установленной в это отверстие. Выполнено натурное измерение поверхностных деформаций в зоне отверстия и численное моделирование указанного процесса нагружения. Результаты расчетов показали, что установка предварительно охлажденной втулки в отверстие вызывает в нем появление только упругих деформаций, равномерно распределенных по толщине пластины.

STRESS-STRAIN STATE OF FLAT SPECIMENS WITH INSTALLED BUSHINGS COOLED IN LIQUID NITROGEN

Zenkov E.V., Didemko P.A.

Irkutsk State Transport University, Irkutsk

Keywords: repair sleeve, natural experiment, numerical modeling, optical system, linear deformations, tension.

Abstract. This article discusses a method for determining the stress-strain state in the area of a circular hole in flat specimens made of aluminum alloy. The load in the plate's hole area is generated by the thermal interference of a sleeve pre-cooled in nitrogen and installed in the hole. In-kind measurements of surface deformations in the hole area and numerical modeling of the loading process were performed. The calculation results showed that installing a pre-cooled sleeve in the hole causes only elastic deformations uniformly distributed across the plate's thickness.

В процессе эксплуатации авиационной техники в ее корпусе могут образовываться различные дефекты. Наиболее эффективным способом ремонта таких дефектов в тонкостенных конструкциях является использование ремонтной втулки, предварительно охлажденной в жидком азоте. В настоящей работе проведен натурный эксперимент по определению локальных деформаций в зоне круглого отверстия пластины, в которое запрессовывается предварительно охлажденная в жидком азоте ремонтная втулка. Учет указанных деформаций позволит в последующем оценить усталостную прочность конструктивных элементов авиационной техники, использующих данный способ ремонта.

Натурный эксперимент проводился с применением оптической системы анализа деформированного состояния VIC-3D [1, 2]. Принцип работы данной системы основан на методе корреляции цифровых изображений (МКЦИ). Схема проведения натурального эксперимента приведена на рисунке 1.

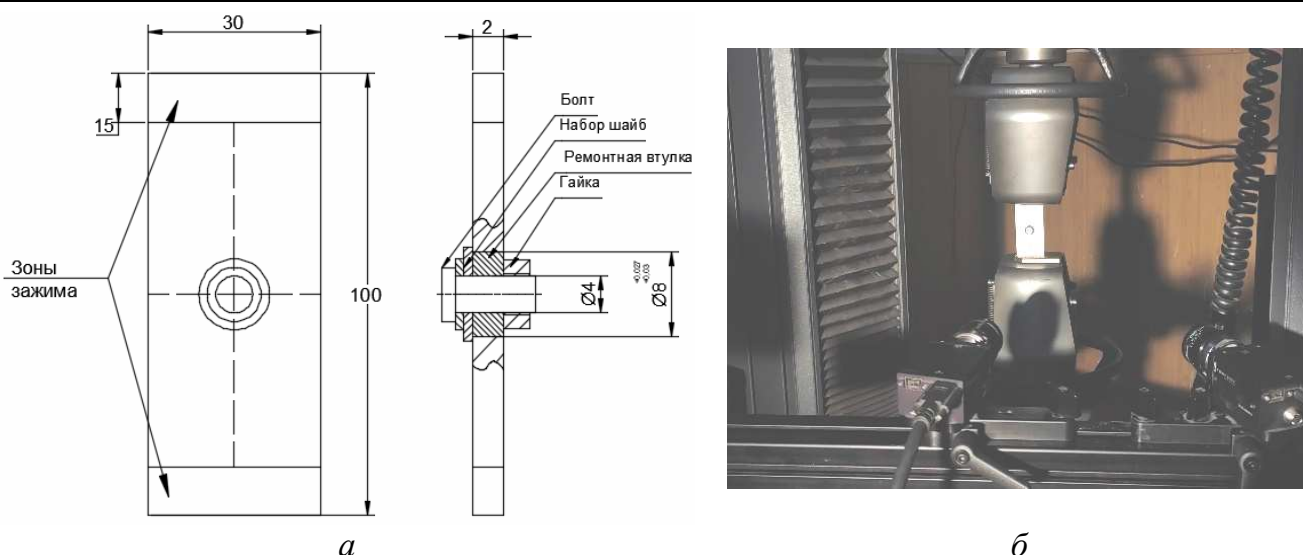


Рис. 1 Схема проведения натурного эксперимента:
а – образец с установленной втулкой; *б* – вид измерительной системы

Плоский образец (рис. 1) изготовлен из алюминиевого сплава 1163АТ, ремонтная втулка – сталь 30ХГСА. Величина натяга, создаваемая втулкой, составляет $0,027 \div 0,030$ мм. Отверстие в образце изготовлено диаметром Ø8Н7. Нагрузка в зоне отверстия пластины формируется за счет натяга, создаваемого при температурном расширении втулки, предварительно охлажденной в азоте. Полученные таким образом поверхностные деформации пластины, получаемые в результате обработки по МКЦИ, приведены на рисунке 2.

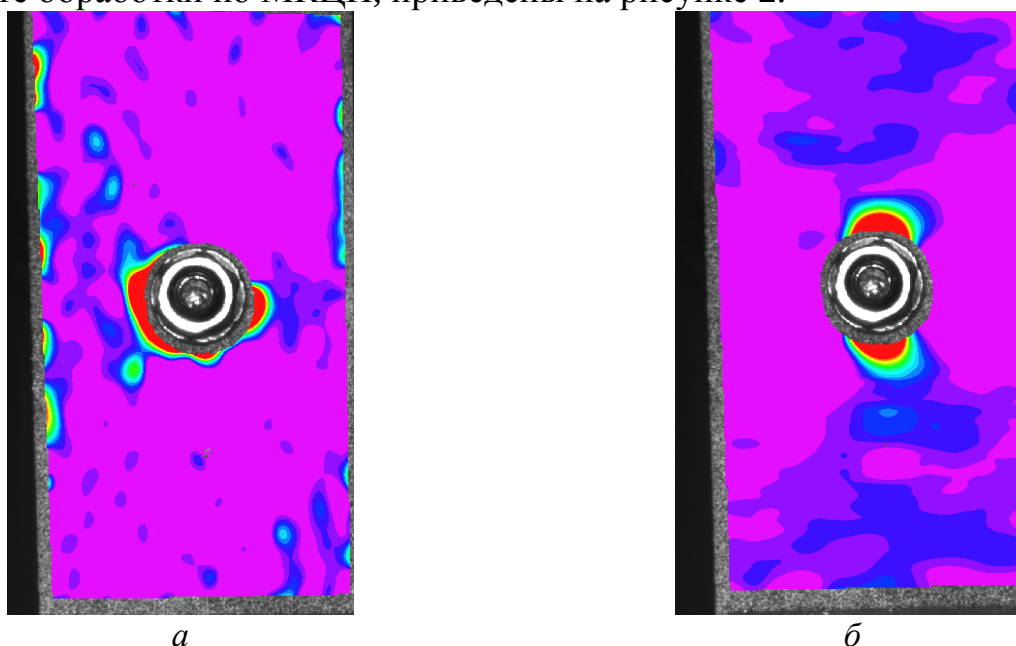


Рис. 2. Распределение натуральных деформаций в пластине с установленной в её отверстии ремонтной втулкой: *а* – линейные деформации по X; *б* – линейные деформации по Y

Для получения соответствующих (рис. 2) распределений механических напряжений около отверстия выполнен численный конечно-элементный (КЭ) анализ [3] напряженно-деформированного состояния (НДС) процесса деформирования пластины с запрессованной втулкой. В КЭ расчете учитывались физическая, геометрическая и контактная нелинейности. Натяг в отверстии

создавался с помощью смещения поверхности втулки на величину натяга. Результаты КЭ анализа представлены на рисунке 3.

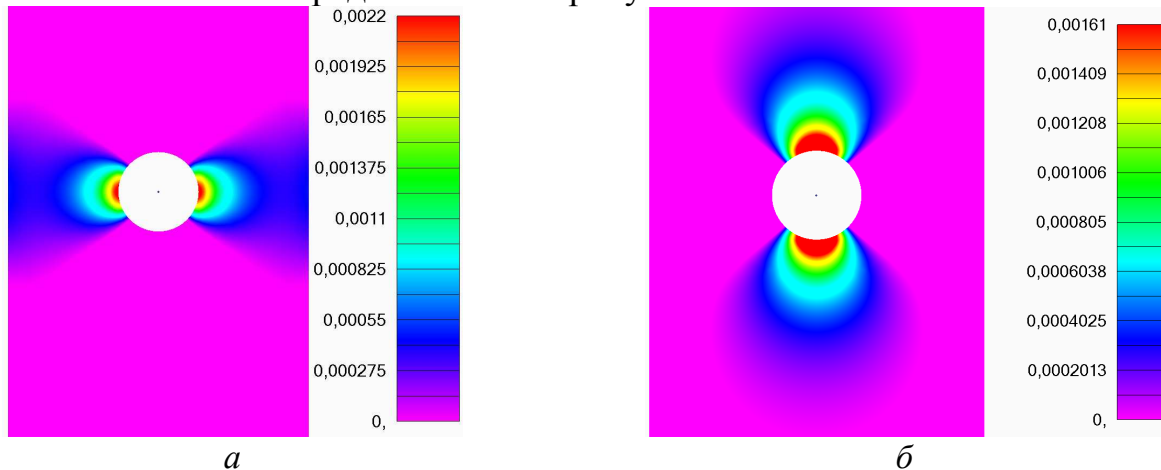


Рис. 3 Распределение численных деформаций в пластине с установленной в её отверстии втулкой: *а* – линейные деформации по X; *б* – линейные деформации по Y

На рисунке 4 приведено сравнение полученных с помощью системы VIC-3D деформаций и соответствующих деформаций, рассчитанных с помощью численного моделирования.

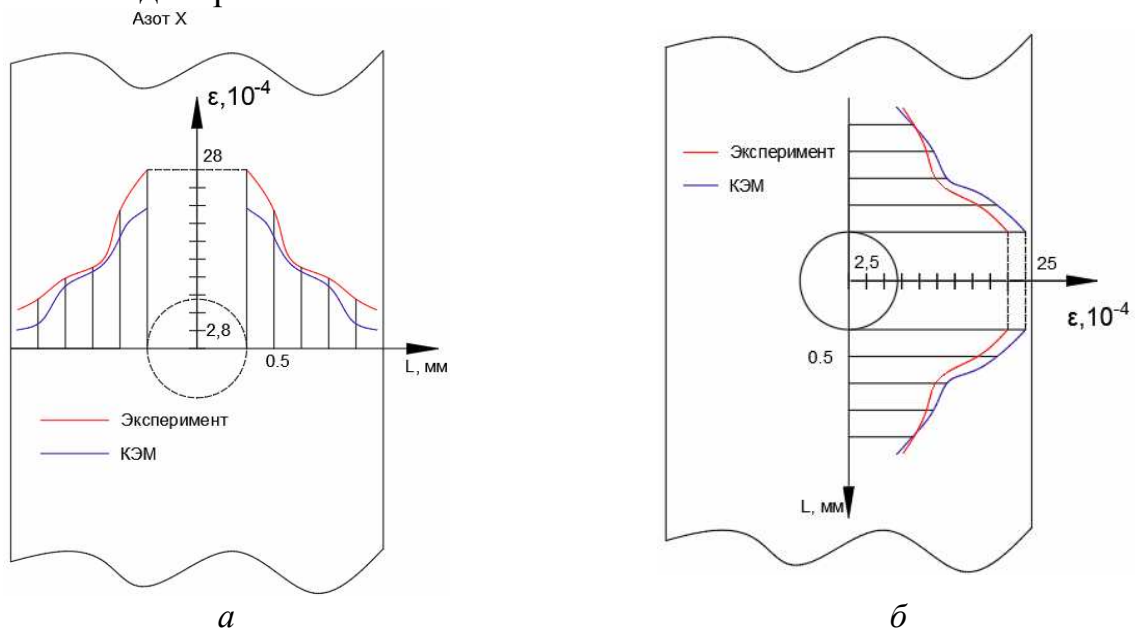


Рис. 4 Распределение деформаций в пластине в зоне отверстия: *а* – линейные деформации по X; *б* – линейные деформации по Y

Таким образом, результаты натурного эксперимента и численного моделирования процесса установки ремонтной втулки, предварительно охлажденной в жидком азоте, в отверстие пластины обладают хорошей качественной и количественной сходимостью. Установлено, что при установке предварительно охлажденной втулки в материале образца в зоне отверстия отсутствуют пластические деформации (рис. 2 и рис. 3). Кроме того, как показало численное моделирование, интенсивность напряжений по толщине пластины в зоне отверстия распределена равномерно. Последующие испытания при циклическом нагружении позволят установить влияние такого способа ремонта тонкостенных конструкций на усталостную прочность.

Список литературы

1. Schreier H., Orteu J.-J., Sutton M.A. Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements. – University of South Carolina, Columbia, SC, USA, 2009. – 364 p.
2. Зеньков Е.В. Экспериментально-расчетная оценка деформационных характеристик специального лабораторного образца для механических испытаний // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 1 (139). – 100.
3. Цвик Л.Б., Зеньков Е.В. Трехмерный инженерный анализ модельных напряженных состояний упругих тел: лабораторный практикум. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2017. – 132 с.

Сведения об авторах:

Зеньков Евгений Вячеславович – к.т.н., доцент, доцент кафедры управления качеством и инженерная графика;

Диденко Петр Андреевич – студент.