

Майстренко Анатолий Викторович
Ростовский государственный строительный университет
Доцент кафедры
Maystrenko Anatoly Viktorovich
Rostov State University of Civil Engineering
Assistant professor
E-Mail: anatol-maystrenko@yandex.ru

05.23.17 – строительная механика

Моделирование отрыва обшивки от корпуса на испытательном стенде

Modeling of separation from the shell plating on the test bench

Аннотация: Объектом анализа является образец пластикового изделия, проходящий проверку качества склейки его частей.

Цель работы: численным моделированием обнаружить условия появления разрушающих нагрузок в клеевом шве при перекошенном креплении зажима, сравнить их со стандартными условиями и определить степень влияния перекоса на результаты испытаний.

Abstract: The object of the analysis is a sample of plastic products passing the test of quality bonding of its parts.

Purpose of work: the numerical modeling detect conditions of occurrence of destructive loads in a glutinous seam when tilted to attaching the clip, compare them with the standard terms and determine the degree of influence of skew the test results.

Ключевые слова: Метод конечных элементов; концентрация напряжений; обшивка; испытания; прогнозирование.

Keywords: Finite elements method; stress concentration; skin; test; prediction.

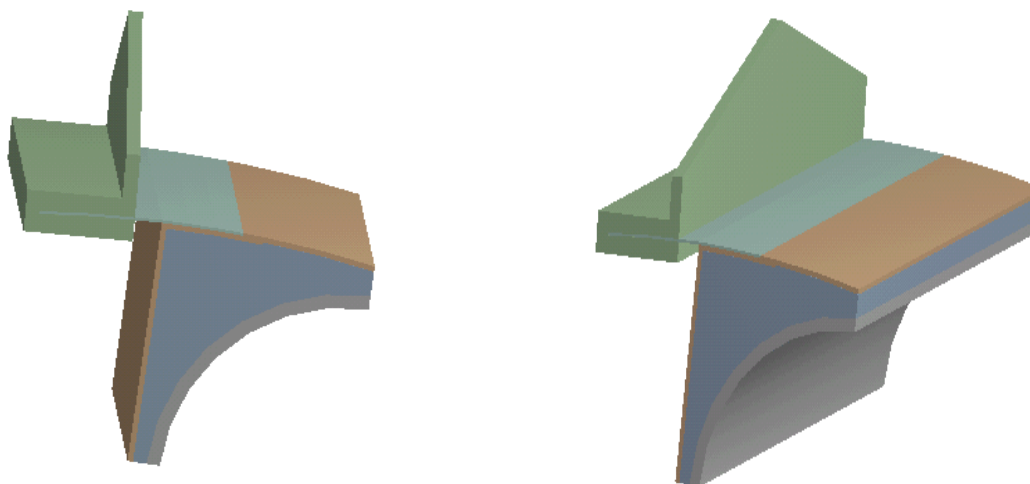
Во время проверки качества склейки обшивки с корпусом строительных пластиковых изделий методом срыва наблюдается значительная нестабильность получаемых результатов. Причинами этого явления могут быть нарушения условий испытаний, а именно: нарушение размеров образца обшивки, перекоса в креплении зажима, приводящий к изменению направления приложения нагрузки и др. Данные факторы могут привести к заниженным измеренным значениям усилий отрыва обшивки и ошибочной выбраковке изделия в условиях качественного клеевого соединения. В работе исследуется количественное влияние одного из этих факторов (перекоса в креплении зажима) на результаты испытаний.

Объектом анализа является образец пластикового клеевого изделия, состоящий из массивного корпуса и тонкой обшивки, проходящий проверку качества склейки обшивки с корпусом с помощью приспособления заданной конструкции путем срыва обшивки.

Цель работы: обнаружить условия появления разрушающих нагрузок при перекошенном креплении зажима, сравнить их со стандартными условиями и определить степень влияния перекоса на результаты испытаний. Для этого рассчитать напряженно-деформированное состояние образца изделия в целом и клеевого шва, в частности, при различных режимах испытаний.

В процессе работы проводилось численное конечно-элементное моделирование поведения образца при испытаниях, выполнялся расчет напряжений в местах крепления обшивки к корпусу для различных исходных данных.

Задача решалась в следующей постановке. Имеется испытательный образец сложной геометрии. Трехмерная модель для анализа (рис. 1) представляет собой обрезанную часть стеклопластиковой обшивки и примыкающий к месту склейки участок корпуса из пенопластового наполнителя и стального основания. На свободной части обшивки закрепляется захват.



Вид А.

Вид Б.

Рис. 1. Общий вид расчетной модели

Материалы работают в упругой области, их прочностные характеристики в процессе испытаний неизменны. Образец через захват нагружается усилиями, приводящими к большим изгибным деформациям отрыва обшивки. Решение осуществлялось методом конечных элементов [1;2;3]. Геометрия образцов, свойства материалов и силовые нагрузки моделировались конечно-элементной моделью [3].

Потенциальная энергия системы при расчете на заданные силы имеет вид

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^n P_i Z_i - \sum_{j=1}^m \int V_j dV_j \quad (1)$$

где n — число независимых компонентов перемещений; m — количество элементов.

Первый член в (1) является линейной функцией перемещений Z_i . Упругий потенциал W_j представляет собой однородную функцию второго порядка относительно Z . Варьирование выражения (1) по Z_i дает n линейных уравнений относительно Z

$$\frac{d\mathcal{E}}{dZ_i} = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (2)$$

Матрица жесткости произвольного элемента конечных размеров определяется по формуле

$$r = \int_V a' r^{(dV)} a dV, \quad (3)$$

Деформации определяются через перемещения. Функции перемещения в прямоугольной системе координат в матричной форме имеют вид

$$Z[Z(x, y, z)][f_g], \quad (4)$$

где $[f_g]$ —вектор независимых параметров, определяемых числом степеней свободы элемента. Из (4) находятся деформации при помощи уравнений Коши

$$a = F(Z) = [B(x, y, z)][f_g] \quad (5)$$

Параметры f_g определяются из граничных условий.

Окончательное выражение для матрицы жесткости произвольного элемента имеет вид

$$r = \int_V (A^{-1})' B' C B A^{-1} dV = (A^{-1})' \left[\int_V B' C B dV \right] A^{-1} \quad (6).$$

Методика расчета реализована программным обеспечением на языке APDL. Алгоритм расчета состоит в следующем. Каждой части модели присваивается соответствующий материал. Полученные объемы разбиваются на конечные элементы, показанные на рис. 2. Их количество в расчетных моделях варьировалось в пределах от 50 до 500 тыс. в зависимости от точности задания анализируемой области.

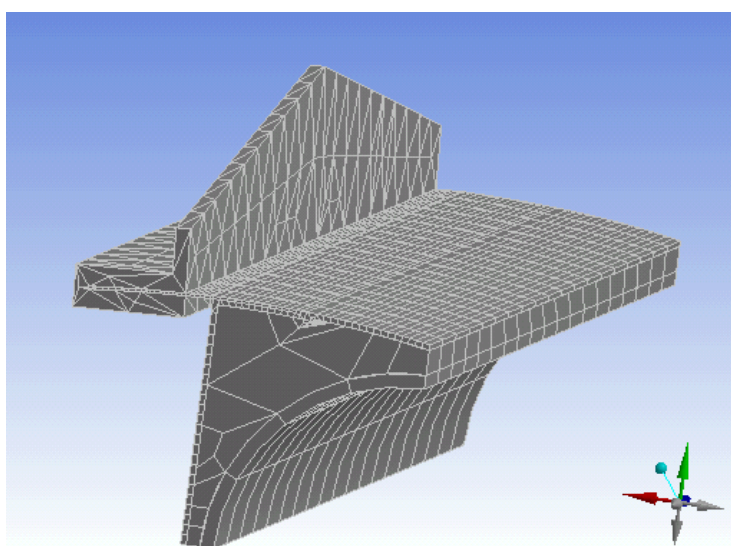


Рис. 2. Конечно-элементная модель расчетной части образца

Нагрузки и закрепления модели показаны на рис. 3.

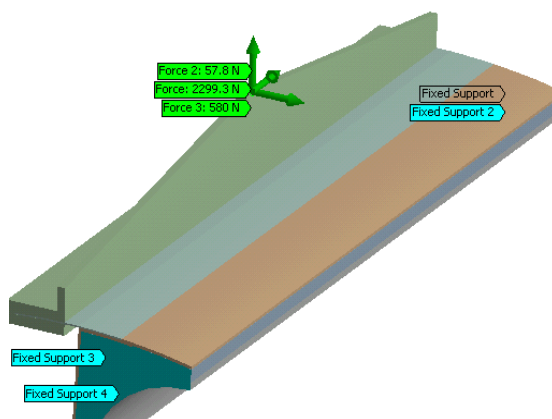


Рис. 3. Нагрузки и закрепления модели. Усилие отрыва приложено с перекосом

Видно, что закрепление образца происходит по краям, а сила прикладывается через захват с некоторым перекосом, что позволяет ее разложить на составляющие. Поперечные составляющие нагрузки, вызванные перекосом крепления зажима, много меньше основной, вертикальной.

Для проверки правильности работы программы она проходила тестирование. С этой целью производился расчет отрыва обшивки, определялось критическое с точки зрения прочности напряженно-деформированное состояние в зоне отрыва обшивки от корпуса и для данных условий определялось соответствующее усилие отрыва. Теоретические значения сравнивались с экспериментальными данными, полученными на образцах, успешно прошедших испытания, т.е. образцах с качественным клеевым швом. Результаты сравнения расчетных и реально полученных при испытаниях отрывных усилий показаны в табл.

Относительная погрешность расчета отрывных усилий для обшивки изделия созданной моделью не превышает 10%, что может быть признано для существующих условий анализа вполне удовлетворительным.

Таблица

Сравнение расчетных и измеренных значений отрывного усилия

Номер образца	Расчетное значение отрывного усилия в Н	Измеренное значение отрывного усилия в Н	Абсолютная разница значений усилий в Н	Относительная погрешность расчета усилий разработанной программой в %
1	4000	3300	700	17,50
2	4000	4000	0	0,00
3	4000	3200	800	20,00
4	4000	3600	400	10,00
5	4000	4500	500	12,50
6	4000	4000	0	0,00
Среднее значение			400	10

Результаты решения задачи о влиянии искривления приложения нагрузки к обшивке на характер ее отрыва от корпуса образца на испытательном стенде представлены ниже. Приводятся данные, характерные для одного из частных случаев, соответствующего конкретной конструкции стенда, когда направление приложения силы отклоняется от вертикального по двум направлениям на несколько градусов: в плоскости движения зажима - на 1.5° и в перпендикулярном направлении на -15° .

Видно, что, при перемещении захвата с обшивкой (рис. 4) происходит заметное перераспределение по полосе отрыва напряжений и деформаций (рис. 5 и 6).

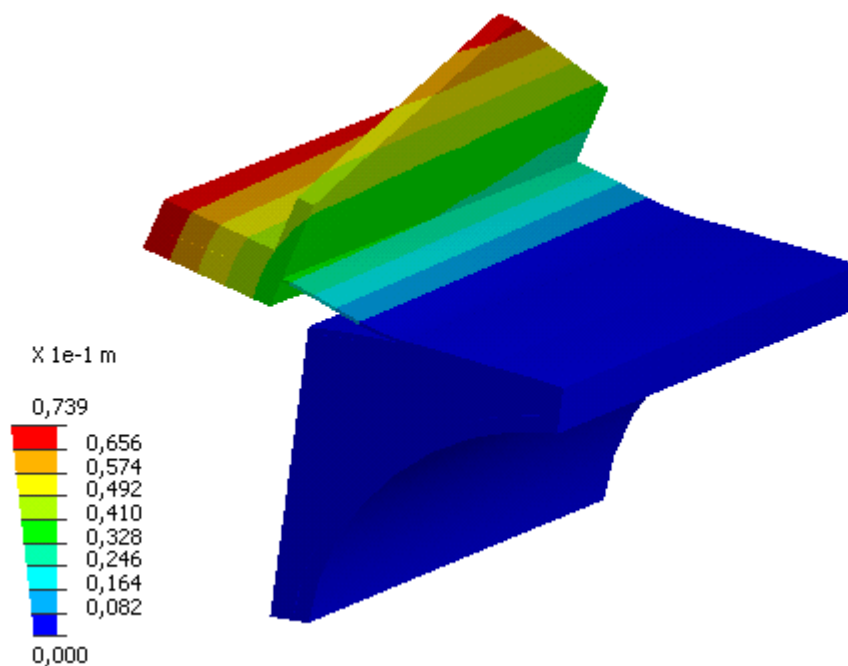


Рис. 4. Суммарные перемещения в образце при проверке качества склейки обшивки с изделием

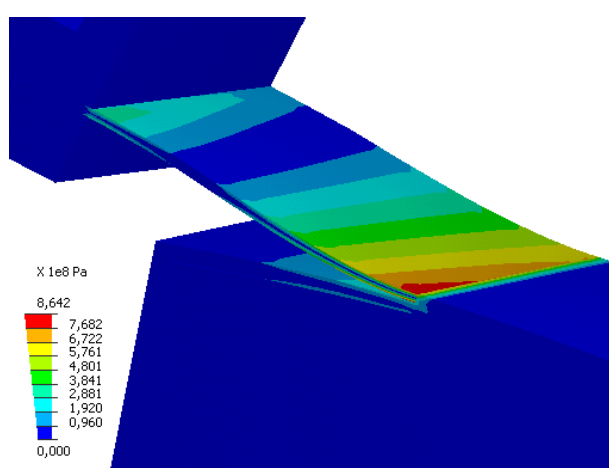


Рис. 5. Эквивалентные напряжения в образце при проверке качества склейки обшивки с изделием. Усилие отрыва приложено с перекосом

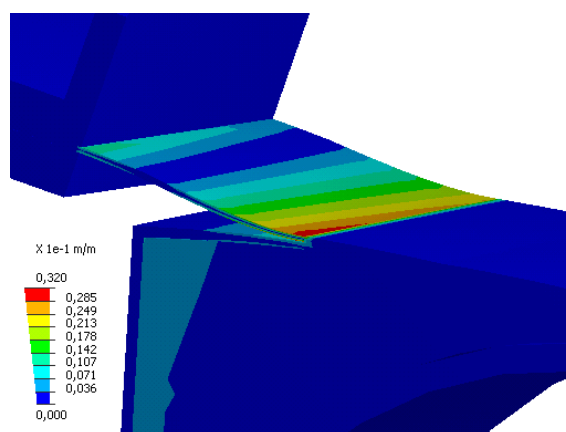


Рис. 6. Эквивалентные деформации в образце при проверке качества склейки обшивки с изделием. Усилие отрыва приложено с перекосом

Рисунки, показывающие интенсивности деформаций, а также главных минимальных и средних напряжений (рис.7,8,9) наглядно демонстрируют неравномерность их распределения, особенно в зоне отрыва обшивки. Это может привести к тому, что разрушение клеевого соединения за счет концентрации напряжений начнется при общих усилиях меньше нормативных. Это, в свою очередь, приведет к выбраковке качественного образца, что недопустимо.

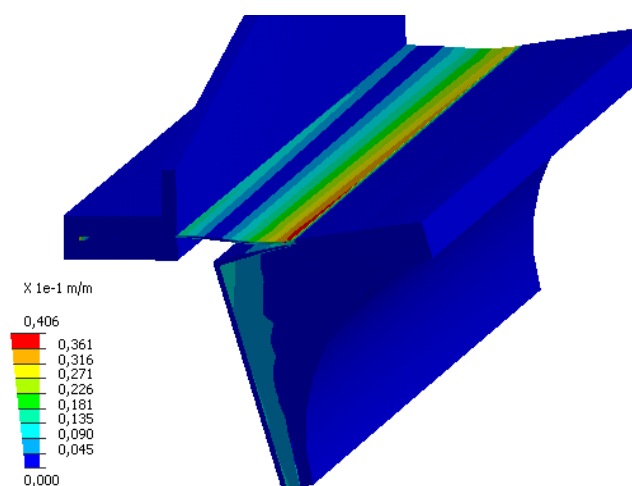


Рис 7. Интенсивность деформаций в образце при проверке качества склейки обшивки с изделием. Усилие отрыва приложено с перекосом

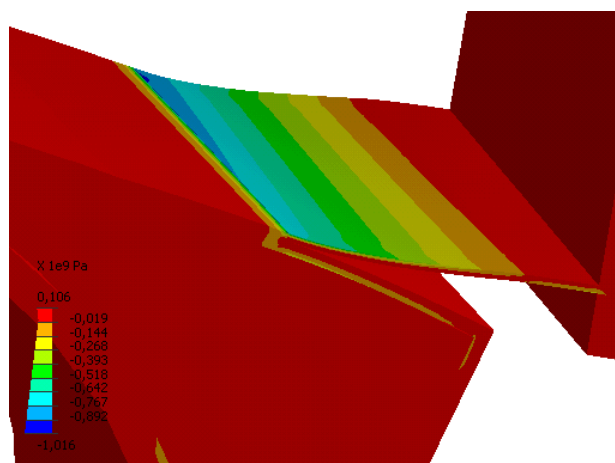


Рис 8. Минимальные главные напряжения в образце при проверке качества склейки обшивки с изделием. Усилие отрыва приложено с перекосом

Выполненные расчеты позволяют количественно оценить влияние перекоса нагрузки на степень снижения отрывных усилий.

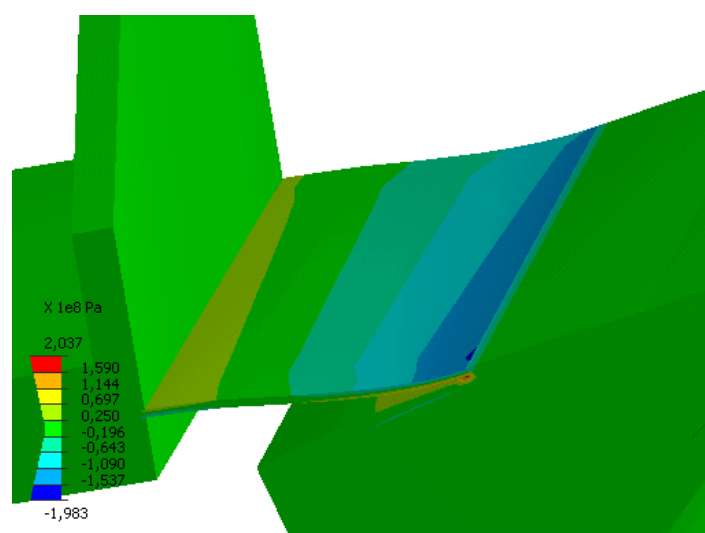


Рис. 9. Средние главные напряжения в образце при проверке качества склейки хвостового отсека с изделием. Усилие отрыва приложено с перекосом

Таким образом, в результате проделанной работы обнаружена значительная чувствительность результатов испытаний к качеству крепления обшивки отсека к зажиму. В частности установлено, что даже небольшое искажение в направлении приложения нагрузки, а именно: в плоскости движения зажима - на 1.5° и в перпендикулярном направлении на -15° , приводит к существенному перераспределению эквивалентных напряжений вдоль полосы отрыва. Эти расхождения достигают величины 25%, что является существенным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кадомцев М.И., Ляпин А.А., Селезнев М.Г. Исследование динамики заглубленных фундаментов методами граничных и конечных элементов. Строительные конструкции и расчет сооружений. – 2010. – №3. – С.61-64.
2. Ляпин А.А., Мещеряков И.А. Об алгоритмах корректировки математической модели слоистой конструкции на основе экспериментальных данных [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Науковедение». – 2012. – №4. URL:<http://naukovedenie.ru/PDF/33trgsu412.pdf> (дата обращения 10.08.2013).
3. Сабоннадьер Ж.-К., Кулон Ж.-Л. Метод конечных элементов и САПР: Пер. с франц.- М.: Мир, 1989.-190с.

Рецензент: Панасюк Леонид Николаевич, доктор технических наук, профессор заведующий кафедрой Технической механики Ростовского государственного строительного университета.