

УДК 624.014.2

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛАСТИН ПРИ СДВИГЕ

А.А. ИВАНОВ; В.И. АТРАХИМОВИЧ
(Полоцкий государственный университет)

Демонстрируется испытательная установка, основанная на принципе перекоса пластины в шарнирном четырехзвеннике. Установка позволяет проводить испытания пластин различных форм, размеров и толщин на устойчивость и сопротивление сдвигу. Показаны общий вид установки, принципиальная схема работы, возможная форма ее реализации. В рамках подготовки эксперимента выполнены предварительные расчеты и симуляция работы установки в условиях, максимально приближенных к реальным. Приведены результаты распределения напряжений в рабочей зоне пластины при использовании образцов прямоугольной и крестообразных форм. Описаны некоторые особенности работы отдельных элементов установки.

Ключевые слова: испытательная установка, сдвиг, шарнирный четырехзвенник, метод конечных элементов, устойчивость, испытания пластин, касательные напряжения, эксперимент.

Потеря устойчивости элементами тонкостенных стержней оказывает большое влияние на общее состояние конструкции в целом. Связано это с тем, что потеря местной устойчивости приводит к искажению формы, смещению центра изгиба, что, в свою очередь, может вызвать кручение стержня и привести к преждевременному выходу его из строя.

Эта проблема впервые была затронута при строительстве мостов Британия и Конуэй исследователем В. Фэйребёрном. Эксперименты на моделях размером в одну шестую от линейных размеров проектируемых мостов показали, что балки теряли несущую способность из-за выпучивания тонких стенок, передававших касательные и изгибные напряжения. При последующем изучении вопроса [1] С.П. Тимошенко заметил, что у изгибаемых балок устойчивость всех отсеков стенки можно считать обеспеченной, если обеспечена устойчивость крайних ее отсеков, в которых преобладают сдвигающие усилия и крайне малы изгибные, а также средних, в которых преобладают изгибные напряжения. Таким образом, при рассмотрении вопроса устойчивости стенок изгибаемых балок на первое место встают вопросы устойчивости пластин при действии чистого изгиба и чистого сдвига.

Эксперименты, связанные с проверкой теоретических решений и методик на их основе, можно разделить на три типа: натурные, полунатурные и лабораторные. К первому относятся эксперименты, проводимые на реальных конструкциях при реальных условиях эксплуатации. Ко второму – испытание отдельных частей или узлов конструкций с имитацией связей и нагрузок, максимально приближенных к реальным условиям. Лабораторные же испытания проводятся со специальными моделями на специально сконструированных установках при связях и нагрузках, предполагаемых в теоретических расчетах.

В частности, исследования такого явления, как потеря устойчивости пластин, возможны только в лабораторных исследованиях, так как в реальных конструкциях данное явление в чистом виде не наблюдается.

При проектировании установки для исследования устойчивости пластин при сдвиге необходимо соблюдать следующие условия: 1) жесткость установки и ее отдельных элементов должна быть во много раз выше испытываемого образца, чтобы деформации деталей установки не повлияли на поведение пластин; 2) при действии нагрузок недопустимо появление эффектов закручивания или изгиба пластины до потери ее устойчивости; 3) нормальные напряжения в образце должны быть незначительными; 3) касательные напряжения по всей плоскости пластины – равномерными; 4) установка должна быть проста в изготовлении и универсальна, позволяя тем самым изменять размеры испытываемых элементов.

В качестве принципиальной схемы установки принят «шарнирный четырехзвенник» (рис. 1), основным преимуществом которой является ее простота, а именно возможность изготовить элементы установки без применения специального оборудования и возможность варьировать размеры испытываемых элементов как по толщине и форме, так и по размерам. В представленной установке в качестве звеньев использовались ввиду их жесткости прокатные уголки из плоскости пластины. Для закрепления исследуемой пластины между уголками применялись болты с гайками. Принятое количество болтов и усилие затяжки позволило избежать проскальзывания пластины и корректно передавать на нее усилия. В качестве шарниров в углах использовались стальные шпильки. При сборе всей конструкции шпильки не затягиваются, что позволяет граням четырехзвенника свободно вращаться относительно их оси. Для свободного деформирования системы, как показано на рисунке 1, уголки смежных звеньев не должны соприкасаться. Общий вид установки представлен на рисунке 2.

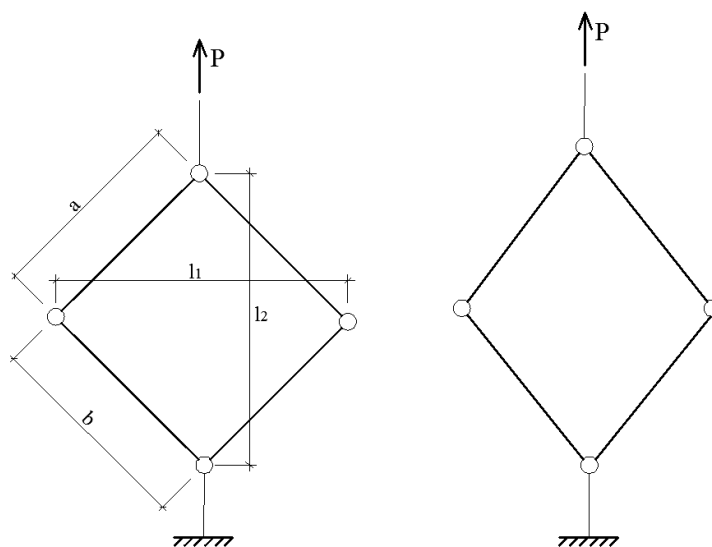
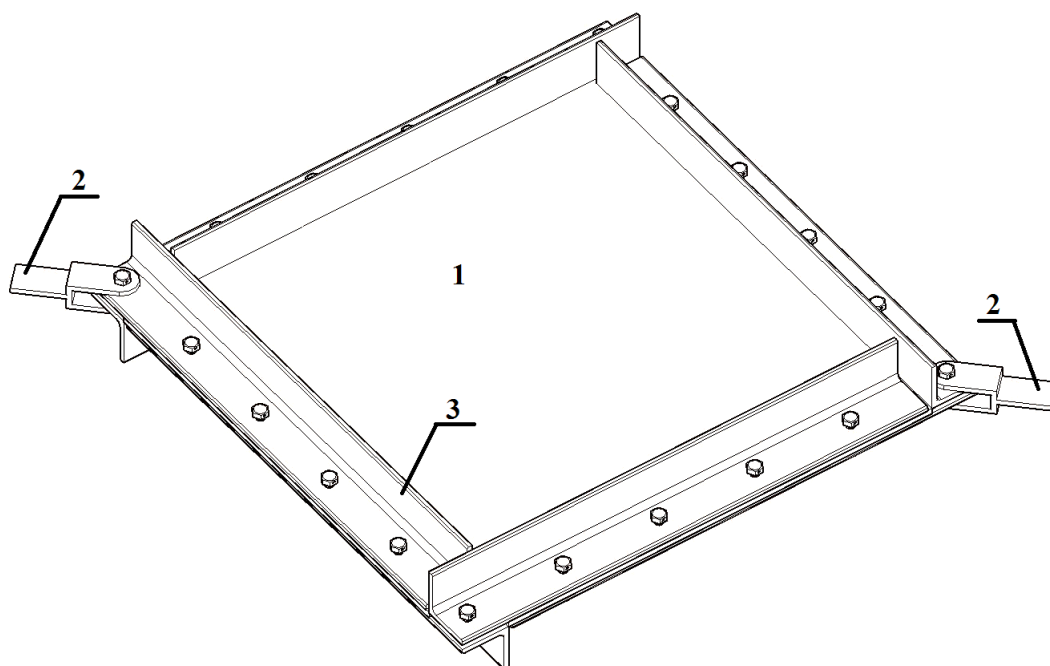


Рисунок 1. – Принципиальная схема установки



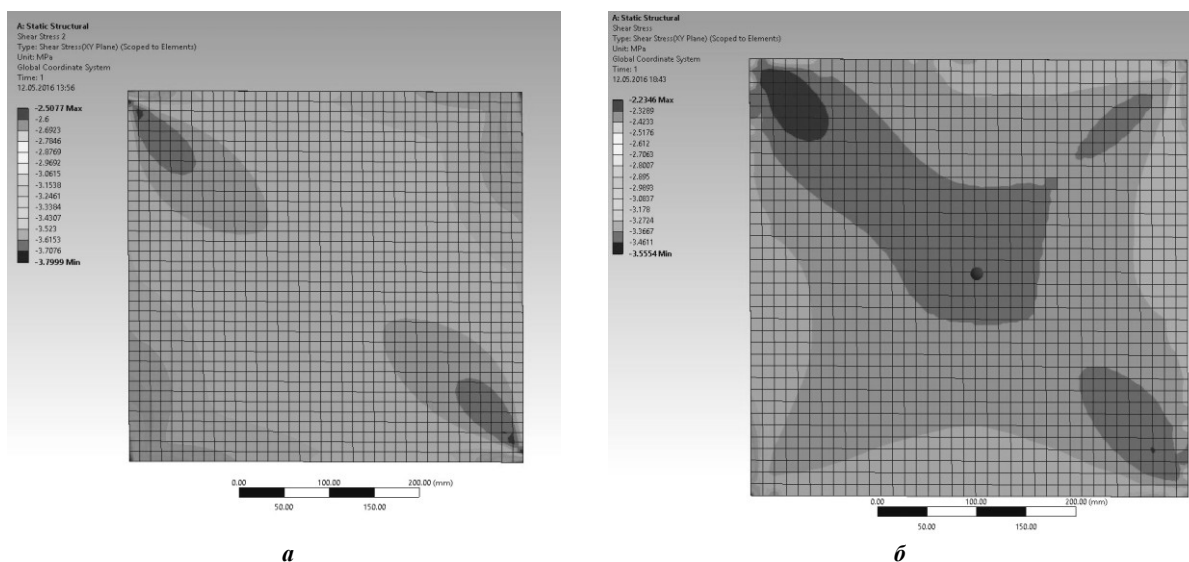
1 – испытываемая пластина; 2 – пластины для захватов разрывной машины;
3 – грани четырехзвенника, передающие нагрузку на пластину

Рисунок 2. – Общий вид испытательной установки

В качестве материала исследуемых пластин использовалось оргстекло. Выбор органического стекла обусловлен двумя причинами: оно легко поддается обработке и представляет линейно-упругий материал с низким модулем Юнга (2800...3300 МПа) и средней предельной прочностью при растяжении 70...83 МПа. Такое сочетание характеристик позволяет при испытании ограничиться невысокими нагрузками и в качестве граней четырехзвенника не использовать массивные стальные элементы, а ограничиться, например, прокатным уголком. Однако следует учесть высокий коэффициент линейного температурного расширения ($0,7 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, что примерно втрое больше, чем у стали), чтобы не допустить искажения результатов эксперимента.

Для оценки адекватности распределения нормальных и касательных напряжений в исследуемой пластине и соблюдения всех требований, предъявленных к установке, в процессе разработки выполнен анализ с использованием программного комплекса на основе метода конечных элементов (МКЭ). Такой подход позволяет не только виртуально апробировать установку, но и выявить особенности работы отдельных ее элементов.

В ряде литературных источников для подобных испытаний упоминается использование крестообразных пластин (т.е. с вырезами в углах). В связи с этим проведено сравнение результатов расчета при помощи МКЭ и сопоставлены характеры распределения напряжений по рабочей площади пластин (рис. 3), а также величины касательных напряжений, приводящих к потере устойчивости. Несмотря на некоторое несоответствие между распределением касательных напряжений по площади пластин, критические касательные напряжения τ_{cr} отличаются не более чем на 1%, а форма потери устойчивости полностью совпадает (рис. 4). Однако следует заметить, что необходимое растягивающее усилие, прикладываемое к установке в случае использования прямоугольных пластин, превышает таковое для крестообразных на значительную величину – до 25%.



а – крестообразная пластина; **б** – прямоугольная
 Рисунок 3. – Поля касательных напряжений в рабочей зоне исследуемых пластин

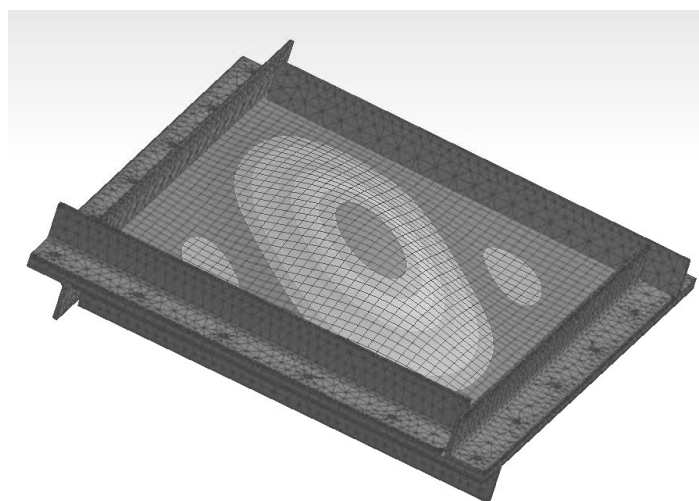


Рисунок 4. – Форма потери устойчивости пластины при чистом сдвиге

Еще одним немаловажным фактором является отсутствие эффектов закручивания или смещения незакрепленных углов установки при действии расчетных нагрузок. В случае появления таковых произойдет деформация срединной плоскости пластины, и форма потери устойчивости может существенно отличаться. При представленном варианте реализации установки эффекты смещения незакрепленных углов появляются только при испытании образцов с высоким сопротивлением сдвигу и величины смещения из плоскости пластины не превышают 0,01 мм, следовательно, ими можно пренебречь.

Предварительный анализ работы установки свидетельствует о наличии местных перенапряжений у отверстий в углах четырехзвенника (рис. 5). Данный факт необходимо учитывать при подготовке экс-

перимента, чтобы не допустить разрушения пера уголка. Помимо этого, необходимо проводить расчет угловых шпилек на срез, так как они подвержены наибольшему нагружению.

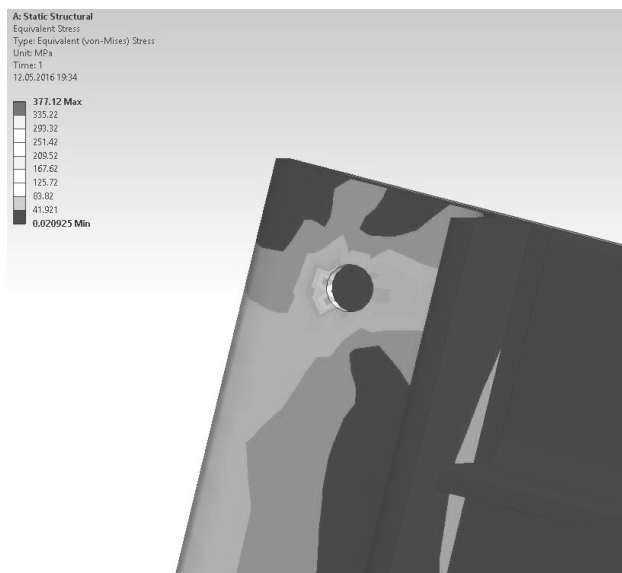


Рисунок 5. – Перенапряжения у отверстий в углах четырехзвенника (эквивалентные напряжения по критерию Мизеса)

Заключение. Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие **выводы:**

- 1) представленный вариант реализации установки для перекоса пластины в шарнирном четырехзвеннике отвечает всем предъявленным требованиям и позволяет получить корректные результаты при исследовании устойчивости пластин на действие касательных напряжений;
- 2) использование прямоугольных пластин без вырезов в углах позволяет получить более равномерное распределение касательных напряжений по площади пластины, но требует увеличения внешней нагрузки вплоть до 25%;
- 3) наиболее опасными частями конструкции с точки зрения прочности являются угловые шпильки, работающие на срез и выполняющие функцию шарниров, и перо уголка, к ним прилегающее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимошенко, С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек / С.П. Тимошенко // Избр. работы ; под ред. Э.И. Григолюка. – М. : Наука, 1971. – С. 646–652.
2. Инженерный анализ в ANSYS Workbench : учеб. пособие / В.А. Бруйка [и др.]. – Самара : Самар. гос. ун-т, 2010. – 271 с.

Поступила 01.06.2016

THE TEST SETUP FOR INVESTIGATING THE STABILITY OF THE SHEAR PLATES

A. IVANOV, V. ATRAKHIMOVICH

The article is dedicated test rig based on the principle of the skew plate in the hinge quadric. This setting allows testing plates of various shapes, sizes and thicknesses of the stability and resistance to shear. An overall view of the installation, operation principle scheme, a possible form of its implementation. Also in the experiment preparation, preliminary calculations and simulation of plant operation in conditions as close to real. Shows the stress distribution in the working area of the plate when using rectangular samples and cruciform shapes. Also describes some of the features of the individual system components.

Keywords: test set, shear, articulated quadric, finite element method, stability, test plates, shear stresses, experiment.