

7. Исакаев Э. Х., Гусев В. М., Мордынский В. Б. Повышение ресурса деталей с газотермическими покрытиями нефтепромыслового оборудования // Технология машиностроения. — 2008. — № 12. — С. 18-22.

УДК 621.9.011:517.962.1

МКЭ-АНАЛИЗ КОМБИНИРОВАННОГО НАГРУЖЕНИЯ АНТИЧНОЙ АМФОРЫ

Довнар С.С., Паращенко К.М., Козловский С.Е.
Белорусский национальный технический университет
e-mail: ssdov@tut.by

Summary. FEA simulation of roman type amphora is provided. 3D-model is drawn from archeology issue. Four load cases are simulated including filled amphora hanging on the handles, vertical compression by standing man, pressurizing up to 1 bar level, side squeezing. Both tension as compression stress concentrators are revealed. It relates to the joints between handles and body so to the vicinity of the amphora's foot.

Stress alleviation should be provided by localized wall thickening. Amphora design looks as rather rational one. It pours an additional light on the world of ancient engineering. Potential of intuitive and experimental modes of design is disclosed.

Античная амфора римского типа (рис.1, а) емкостью 40 литров подвергнута виртуальным испытаниям с помощью метода конечных элементов (МКЭ). Геометрия амфоры воспроизведена по данным сканирования археологических находок. Толщина глиняных стенок амфоры составляет ~9 - 11 мм. Вес сосуда – 17,5 кг.

Первоочередной интерес представляли концентраторы напряжений в нестандартной несущей системе из глины. Глина является хрупким материалом, чувствительным к растяжению и поверхностным дефектам. Компьютерное моделирование позволяло получить оценки прочности объекта, созданного исключительно путем сочетания интуитивно и экспериментальных методов проектирования.

Разработана система вариантов нагружения амфоры. Она включает действие силы тяжести жидкости (LC1), вес работника, ставшего на горловину вертикальной амфоры (LC2), внутреннее давление в амфоре в случае брожения вина (LC3), боковое нажатие на лежащий сосуд (LC4).

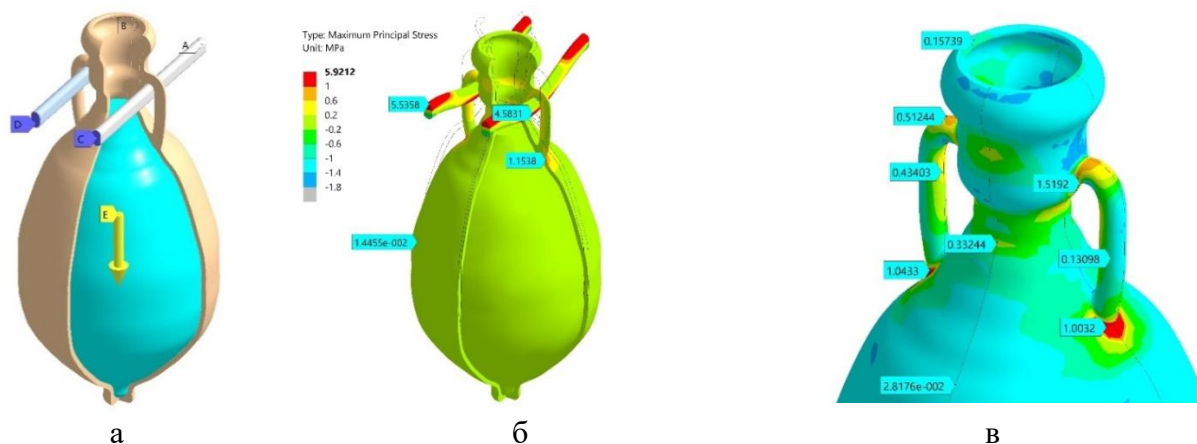


Рис.1. Геометрическая модель амфоры (а - включены собственно сосуд, перекладины для переноски и модельная жидкость), картина максимального главного напряжения σ_1 при переносе амфоры на перекладинах (б; LC1) и концентраторы напряжений σ_1 в местах примыкания ручек амфоры к глиняному корпусу (в).

Использовались модельные материалы – глина, древесина и условная жидкость. Решалась статическая задача в нелинейной постановке. Средствами МКЭ воспроизводились фрикционные пары между ручками амфоры и деревянными перекладинами (рис.1, б).

Проведена серия МКЭ-тестов, выявившая концентраторы напряжений возле ручек амфоры (рис.1, в). Существенные растяжения обусловлены недостаточной толщиной стенок сосуда возле мест примыкания. Прочность собственно ручек представляется достаточной. Следует делать более плавные переходы по толщине между ручками и стенками. Это требует локального нанесения дополнительных слоев глины.

При испытаниях на сжатие (хождение людей в корабле по вертикально поставленным сосудам) слабым местом представляется изгиб стенок возле ножки (маркер -1.829 МПа на рис.2, а). Здесь также рекомендуется локальное утолщение стенок. Это желательно и на горловине сосуда.

Обнаружено, что амфора, годная к переноске, способна выдержать и внутреннее давление примерно до 1 бара (рис.2, б). Растягивающие напряжения в глиняных стенках раздуваемого сосуда не превышают 1,75 МПа. Волнистость корпуса амфоры (колебания диаметра) не являются критичной для прочности конструкции. Такая неточность гончарного производства допустима на практике. Локальные концентраторы напряжений при действии на амфору внутреннего давления не наблюдаются. Это сильная сторона обсуждаемой интуитивной конструкции.

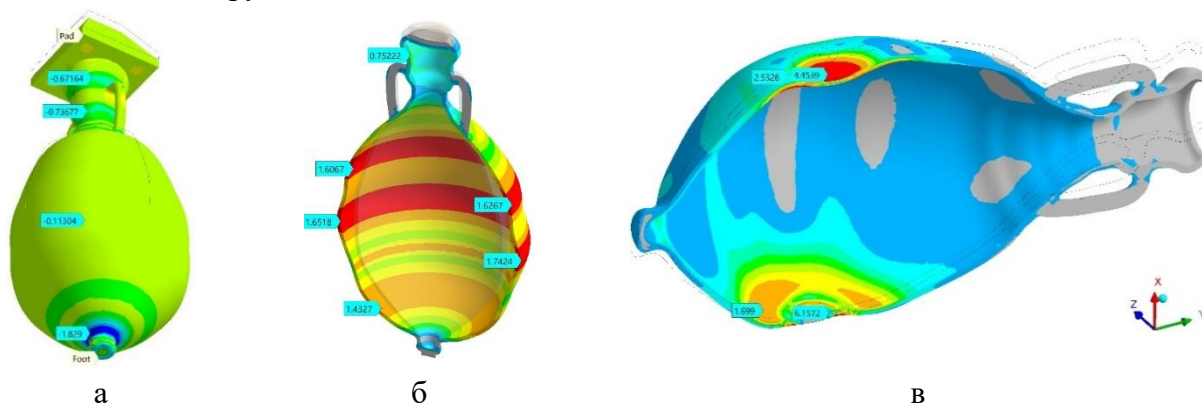


Рис.2. Напряженные состояния амфоры для вариантов нагружения LC2, LC3 и LC4 соответственно: а – вертикальное нажатие (1 кН; σ_3); б – внутреннее давление (1 бар; σ_1); в – поперечное сдавливание (1 кН; σ_e).

Амфора вполне устойчива к поперечному сдавливанию, исключая собственно пятна нажатия и опирания (рис.2, в). Здесь критично присутствие эластичного материала. За пределами указанных пятен напряжения изгиба не превышают 2,6 МПа.

В целом прочность и жесткость амфоры удовлетворительна. В первом приближении наблюдается равнопрочность конструкции при разных вариантах нагружения.

Сосуд можно считать достаточно гармоничной конструкцией. Однако, надо иметь ввиду описанные выше концентраторы напряжений. Напряжения в разных случаях нагружения сравнительно близки друг к другу. Это указывает на мультивалентность (одинаковый запас прочности при разных воздействиях) амфоры.

Полученные данные проливают дополнительный свет на мир античной инженерии. Предполагается далее произвести виртуальное избирательное усиление амфоры. После повторных МКЭ-испытаний (и связанных с ними уточнений) рационально будет воспроизвести сосуд в реальности с помощью 3D-принтера. В случае успешного локального усиления амфора может быть признана весьма рациональной конструкцией, мультивалентно устойчивой к широкой гамме транспортных воздействий.