

НАПРЕЖЕНИЕ НА РАЗРУШАВАНЕ НА ЕДИН ТИП СЪКЛЕНА БУТИЛКА ЗА ПИВО

Дочка Ганчовска, Симеон Василев, Иван Михайлов

Университет по хранителни технологии, катедра Техническа механика и машинознание

4002 гр. Пловдив, Р. България

dganchovska@abv.bg, svasileff2000@yahoo.com, mihaylow@abv.bg

EVALUATING THE BREAKING STRESS OF A BEER GLASS BOTTLE

Dochka Ganchovska, Simeon Vasilev, Ivan Mihaylov

University of Food Technologies

Department of technical mechanics and mechanical engineering

4002 Plovdiv R. Bulgaria

dganchovska@abv.bg, svasileff2000@yahoo.com, mihaylow@abv.bg

ABSTRACT

Three methods are proposed to evaluate the breaking stress by which the internal pressure destroy the glass packagings. A comparative analysis is made between the obtained results.

Key words: Internal pressure, glass packaging, strength characteristics

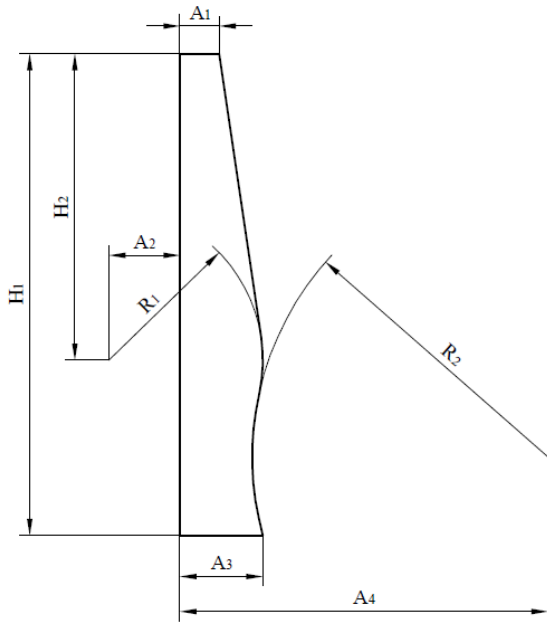
Въведение. Стъклените опаковки са предпочитани от потребителите за съхранение на течни хранителни продукти. Например 71% от произведената в световен мащаб бира се бутилира в стъклени опаковки [14]. Днес има голямо разнообразие от геометрични форми и декоративни елементи на стъклените опаковки, които правят продукта по-привлекателен и интересен в очите на потребителя, привличат вниманието на рафта в магазина, и се превръщат в израз на индивидуалност на марката [9]. При проектирането на нови опаковки трябва да се вземат в предвид и техническите изисквания към тях. Основен показател за механичната якост е устойчивостта на вътрешно налягане. Чрез прилагане на съвременни САД продукти се създават възможности за автоматизирано проектиране както на опаковката така и на екипировката за производството и, а също така и за извършване на необходимите якостни пресмятания.

Целта на настоящата разработка е провеждане на компютърен инженерен анализ по метода на крайните елементи (числен метод) за стъклена опаковка с вместимост 0,500 l, като се използва продукта SolidWorks и се направи сравнение с аналитично определени опасни напрежения и резултати от предварителни изпитания в лабораторни условия.

Материали и методи

Обект на изпитване е бутилка с вместимост 0,500l за пиво.

1. Числен метод (компютърен инженерен анализ) - създаден е 3D модел на опаковката. Същата се състои от три съставни части: гърло, тяло и дъно. Модела е осово симетричен. За гърлото, дъното и външния контур на тялото е направена първо скица и след използване на командата Revolved Boss/Base се създава обемното тяло [6]. Скицата на тялото – външен контур фиг. 1, в осово направление се състои от един праволинеен участък и два плавни прехода. Вътрешната част на тялото се получава с командата Revolved Cut и скица със същата форма, но при оразмеряването се отчита дебелина на стената 2mm.



Фиг1. Външен контур на тялото на опаковката

Разделяне на обекта на крайни елементи - информация за броя и размерите им е отразена в Таблица 2.

№ по ред	Механични характеристики	Стойност
1.	Elastic modulus	6.893500006 e+010 N/m ²
2.	Poisson's ratio	0,2300000042 NA
3.	Shear modulus	2,802199962 e+010 N/m ²
4.	Mass density	2457,600098kg/m ³
5.	Yield strength	70000000 N/m ²
6.	Thermal expansion	9,000000318e-006 Kelvin
7.	Thermal conductivity	0,7497599721 W/(m.K)
8.	Specific heat	834,6099854 J/(kg.K)

Study name	Study 1	Tolerance	0,2 mm
Mesh type	Solid mesh	Mesh quality	High
Meshes Used	Standart	Total nodes	39920
Automatic Transition	Off	Total elements	30216
Include Mesh Auto Loops	Off	Max. Aspect Ratio	16,124
Smooth Surface	Off	% of el. with Aspect Ratio < 3	88.9
Jacobian Check for solid	4	% of el. with Aspect Ratio > 10	0,416
Element size	4 mm	% of distorted el. (Jacobian)	0

За осъществяване на анализа със SolidWorks Simulation е извършена следната подготовка:

Избор тип анализ: Избран е статичен анализ с тип на мрежата от тримерни крайни елементи Solid mesh [10,13].

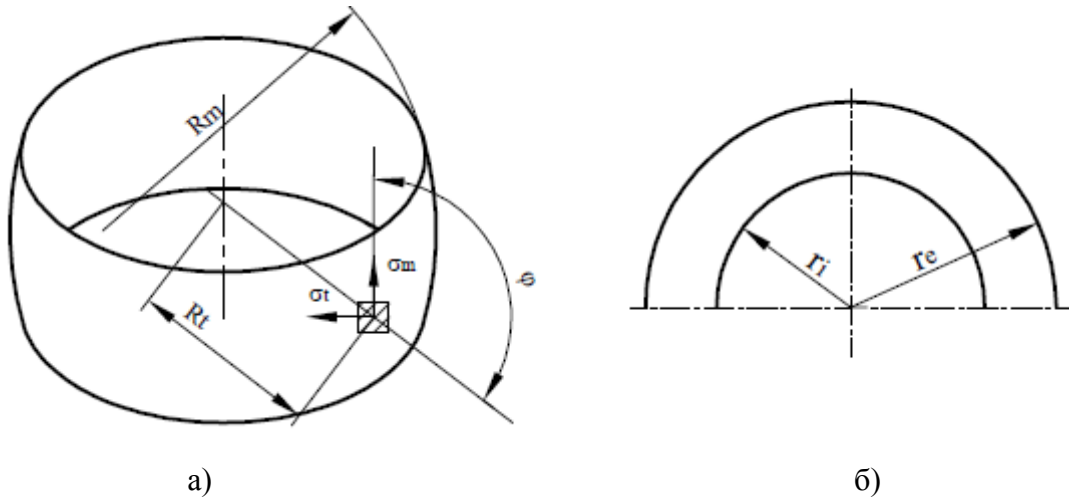
Задаване на материал: материалът от който е изработен модела е стъкло със механични характеристики [12], дадени в Таблица 1.

Закрепване и натоварване - симулирани са условията на закрепване и натоварване които се прилагат при реалните изпитания на стъклени опаковки на стендове и установки според изискванията на стандартизационните документи [1,5,11]. Модела е закрепен за гърлото така, че да виси. Избрана е опцията Immovable. Натоварването е вътрешно налягане – Pressure 2MPa.

2. Аналитичен метод

Разглеждаме зоната на изпъкналата част на тялото като ротационна черупка [8], натоварена осово със симетричен разпределен товар. Възможни са два случая:

2.1. Ротационна тънкостенна черупка – фиг.2а.



Фиг. 2. Геометрични параметри на черупката: а- тънкостенна; б- дебелостенна

С достатъчна точност можем да приемем, че напреженията са равномерно разпределени по дебелината δ на стената и могат да се изчислят по следните общи формули, [7]:

$$\frac{\sigma_t}{R_t} + \frac{\sigma_m}{R_m} = \frac{p}{\delta} \quad (1)$$

$$2\pi r \delta \sigma_m \sin \varphi + R = 0 \quad (2)$$

$$\sigma_{red}^{IV} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (3)$$

Където: σ_m - меридианно (успоредно на оста) напрежения в черупката, Pa

σ_t - окръжностно напрежение, Pa

σ_m, σ_t - са показани на фиг. 2б

σ_{red}^{IV} - еквивалентно напрежение по IV якостна теория, Pa

R_t - радиус в нормално сечение, m

R_m - радиус на меридиана, m

R - равнодействуваща сила, N

p - налягане, Pa

δ - дебелина на стената на черупката, m

Тук главните напрежения са съответно: $\sigma_1 = \sigma_m; \sigma_2 = \sigma_t; \sigma_3 = 0$

2.2. Дебелостенна черупка - фиг.2б.

$$\sigma_{red}^{IV} = \frac{p\sqrt{3}}{1 - \lambda^2} \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{r_i}{r_e} \quad (5)$$

Където: σ_{red}^{IV} - еквивалентно напрежение по IV якостна теория, Pa

P - налягане, Pa

r_i, r_e - вътрешен и външен радиус на черупката, m

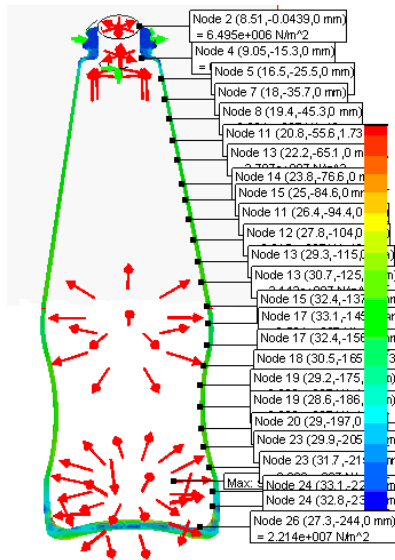
3. Лабораторни изпитания

Изпитанията са направени на специално изработен за целта лабораторен стенд, в катедра ТММ към УХТ – Пловдив. Устройството и принципа на работа на стенда са разгледани в [2], последователността на работа и условията за провеждане на експериментите в [3].

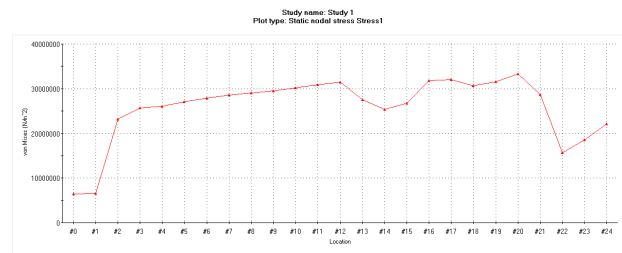
Резултати и обсъждане

1. От числения метод (компютърен инженерен анализ)

Резултатите от проведения анализ за напрежението (Stress –von Mises) по този метод за вътрешния - σ_i и външния контур - σ_e на обекта и могат да бъдат представени като 2D графики или в текстова форма [10].



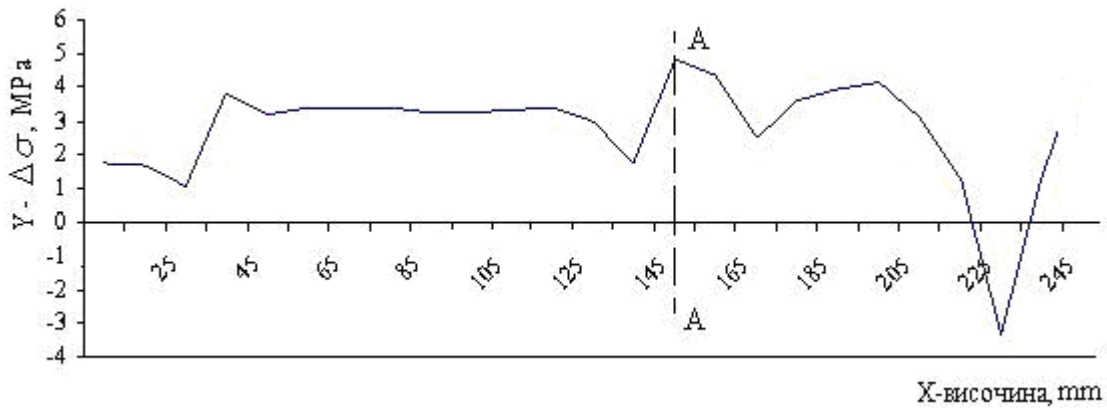
Фиг. 3. Напрежения по вътрешния контур, отчетени с командата Probe



Фиг.4. 2D графика на напрежението по вътрешния контур

Напреженията за отделните точки от контурите се отчитат с командата Probe. Тези по вътрешния контур са показани на фиг. 3 и 4.

След обработка на получените данни за разпределение на напреженията по двата контура на опаковката, спрямо височината е видно, че тези по вътрешния контур са по-големи. На фиг. 5 е дадено разпределението на тяхната разликата $\Delta\sigma = \sigma_i - \sigma_e$ спрямо височината. Началото на координатната система съвпада с горния край на бутилката.



Фиг. 5. Разпределение на напрежението $\Delta\sigma$ по височина на бутилката

В [4] е установено, че разрушаването на опаковката е там, където разликата в напреженията е най-голяма. За този случай това е зоната на изпъкналата част от модела - зона А-А на графиката, където $\sigma_i = 25,34 \text{ MPa}$, $\sigma_e = 20,49 \text{ MPa}$. Средното напрежение в тази зона е $\sigma_{cp} = \frac{\sigma_i + \sigma_e}{2} = 22,9 \text{ MPa}$.

2. От аналитичния метод – определяне на напреженията в зона А – А

2.1. Ротационна тънкостенна черупка - изходни данни:

$$P = 2.10^6 \text{ Pa}; \delta = 2.10^{-3} \text{ m}; R_t = 34. 10^{-3} \text{ m}; R_m = 64.10^{-3} \text{ m}; \varphi = 91^{\circ}.$$

След заместване в (1), (2) и (3) :

$$R = 5830 \text{ N}; \sigma_m = \sigma_1 = 27,5.10^6 \text{ Pa}; \sigma_t = \sigma_2 = 19,4.10^6 \text{ Pa}; \sigma_3 = 0; \sigma_{red}^{IV} = 24,47.10^6 \text{ Pa}.$$

2.2. Дебелостенна черупка - изходни данни:

$$P = 2.10^6 \text{ Pa}; r_i = 33.10^{-3} \text{ m}; r_e = 35. 10^{-3} \text{ m}$$

След заместване в (4) и (5) :

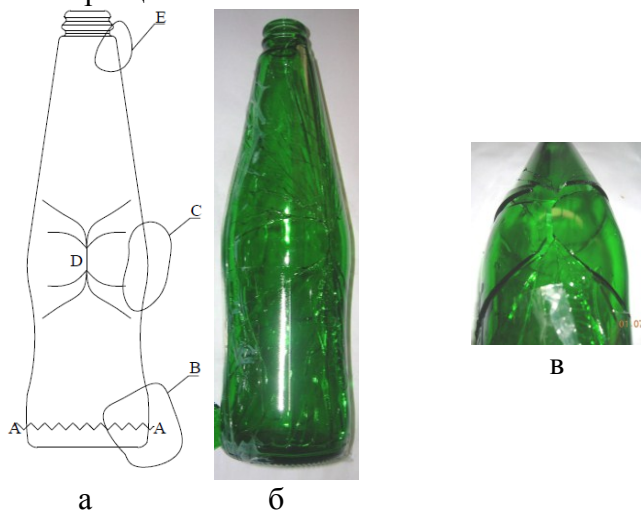
$$\lambda = 0,943; \sigma_{red}^{IV} =$$

3. От лабораторните изпитания

В Таблица 3 са дадени резултатите от лабораторните изпитания, на фиг. 6 са означени зоните на разрушаване на опаковката и един от образците.

Таблица 3

№ по ред	P_{zp} [Bar]	Зона на разрушаване
1.	15,65	А В
2.	10,55	Е
3.	21,34	Д
4.	22,31	С Д
5.	23,27	В Д
6.	21,06	А Д
7.	25,51	В Д



Фиг. 6 а- Зони на разрушаване на стъклената опаковка; б, в- образци от изпитанията.

При тези изпитвания се установи, че най-висок процент - 71% разрушени опаковки има в зона D – това е изпъкналата част на бутилките.

Сравнение на резултатите.

При сравнение на аналитично получените резултати с тези от компютърния анализ се получава средна грешка $\Delta\sigma\% = \frac{\sigma_{red}^{IV} - \sigma_{cp}}{\sigma_{red}^{IV}} 100$ от порядъка на 6,4% при приравняване на модела към тънкостенна черупка и 26,6% при дебелостенна черупка.

Изводи.

1. Направен е сравнителен анализ между напреженията определени по числен и аналитичен метод при които стъклената опаковка от изпитвания тип се разрушава със следните резултати: средната грешка между аналитичните резултати при модел тънкостенна черупка и компютърния (числен) метод е 6,4%, при модел дебелостенна черупка 26,6%. За практически инженерни изчисления може да се използва модела на тънкостенната черупка, чиито резултати се доближават до тези от компютърния (числен) метод.

2. В посочената от компютърния анализ опасна зона (зона А-А) се разрушават 71% от лабораторно изпитаните образци.

Използвана литература.

1. БДС EN ISO 7458 Опаковки стъклени. Устойчивост на вътрешно налягане. Методи за изпитване, 2006;
2. Ганчовска Д., С. Василев, Якостни показатели изпитване, 2006;
3. Ганчовска Д., С. Василев Якостни показатели на стъклените опаковки за хранителната индустрия. Научни трудове на Съюза на учените Пловдив, серия В Техника и технологии, том. X, стр. 113-117, ISSN 1311-9419, 2013;
4. Ганчовска Д., С. Василев, И. Михайлов, Сравнителен анализ на якостните характеристики на стъклени опаковки за хранителни продукти, Международно научно on-line списание НАУКА и ТЕХНОЛОГИИ, Съюз на учените Стара Загора, VOLUME III; NUMBER 4; 2013: Technical studies, ISSN 1314-4111;
5. Ганчовска Д., С. Василев, И. Михайлов, определяне на критичните зони за разрушаване на стъклена опаковка за хранителни продукти в среда на SolidWorks. Научни трудове на Съюза на учените Пловдив, октомври 2013, под печат
6. ГОСТ 10117.1 – 2001 Буылки стеклянныe для пищевых жидкостей. Общие технические условия;
7. Григоров Б., Р. Митрев, SolidWoks: Практическо ръководство, издава Перфект консулт, 2008, ISBN 9789545650529;
8. Кисьов И., Съпротивление на материалите, ДИ Техника, София, 1970;
9. Мунев Й. В., Структурно-механично моделиране на стъклена бутилка, Дисертационен труд, 2011
10. Списание ХИ&Т- Октомври.2012
11. Ташев М., П. Йорданов Инженерен анализ с метода на крайните елементи, Издателство „ЕКС-ПРЕС”- Габрово, 2012, ISBN 978-954-490-350-3;
12. ASTM C-147-2005 – Standard Test Methods for Internal Pressure Strength of Glass Containers, United States;
13. Lehman R. The Mechanical Properties of Glass, Rutgers Universiti, USA;
14. Mihaylov I., M. Boteva, S. Vasilev, Designine of an elastic element of a tensometric sensor for measurement of food cutting forces; Agri-food sciences, processes and technologies; Sibin, 2014, ISSN 1843-0694
15. www.swewe.com- Световна енциклопедия