

Изследване на устойчивостта на вълнообразен картон

Вилхелм Хаджийски, Стефан Стефанов, Делян Господинов, Надя Арабаджиева

Study of stability of corrugated cardboard. *The survey was conducted in order to simulate the behavior of corrugated cardboard in the process of loading the storage and transport. The paper analyzed the stability of longitudinal bending to reach a state of loss of stability. The analysis was performed by FEM with Cosmos Works. The results make it possible to assess the value of critical load of the packages from corrugated cardboard.*

Key words: *.packaging, package, corrugated cardboard, FEM, model, simulation*

ВЪВЕДЕНИЕ

Вълнообразният картон през последните години се наложи като незаменим материал за изработването на вторични и първични опаковки, както и на дислеи за търговските обекти. Това се дължи на сравнително ниската му цена, възможността за рециклиране и лесното производство на елементи и опаковки от него. При проектирането на различни изделия често пъти се налага да се проведат някои якостни изчисления, които да дадат възможност за ефективното му използване. Съществуват редица аналитично и експериментално изведени зависимости, които дават възможност за определяне ориентировъчно на някои характеристики, но в повечето случаи те са с недопустима дори за практиката грешка. За решаване на проблема много от съвременните разработки са свързани с намирането на методики за определяне на някои показатели, даващи по-реална представа за поведението на вълнообразния картон при реални експлоатационни условия.

Редица автори са изследвали поведението на вълнообразния картон при различни производствени и експлоатационни натоварвания - механични, климатични и др. За целите на своята работа са използвали както теоретични, така и експериментални и дискретни модели. Целите, които си поставят в процеса на своите изследвания са свързани преди всичко с оптимизиране на конструктивните и технологичните параметри на вълнообразния картон и на опаковките от него.

Biancolini и Brutt за първи път експериментално определят чрез дискретен модел по метода на крайните елементи поведението на вълнообразния картон. Тяхната цел е била да изследват поведението му при огъване. Проведените с разработеният от тях модел на пълна опаковка са направени симулации на реални експлоатационни натоварвания и са довели до резултати, близки с получените експериментални данни. При своите изследвания те са използвали някои специфични процедури за формализирано описание на модела.

Lee и Park са изследвали кои конструктивни фактори влияят върху устойчивостта на опаковките от вълнообразен картон при различни натоварвания. Установили са, че големината на силите, които притискат опаковката отгоре и отдолу, зависят от това, какво е натоварването в централните зони на кутията.

Способността на тези централни зони да устоят на силата на огъване, може да увеличи здравината на кутията. Опитите са направени при различни сили на натиск на кутиите, които са с еднакви размери и са произведени от едни и същи компоненти, но с различни видове флутинги.

Направеното от тях проучване дава възможност да се направи задълбочен анализ на поведението на опаковката от вълнообразен картон и при кои случаи тя може да бъде натоварена така, че флутингът да бъде натоварен със сили, предизвикващи напрежения на напречно срязване.

Разработеният от Isaksson и Gradin [3] модел дава възможност да се изследва процеса на деформация при огъване, срязване или пластичните деформации, възникващи в материала на опаковката. При конструирането на вътрешността на

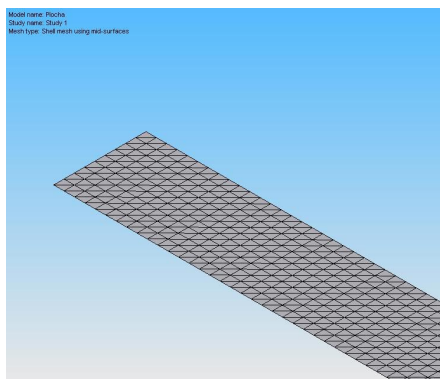
вълнообразния картон – флутинга, трябва да се определи много точно какво трябва да е отношението между дебелината и височината на флутинга. След направените от тях точни измервания те са установили, че стойността на този коефициент под определена критична дебелина на флутинга може да бъде причина за по-малката устойчивост при натоварвания на конструкцията.

Нап и Park в своите изследвания са работили върху изучаването на основните параметри от конструкцията на опаковките от вълнообразен картон. Те подробно са изследвали влиянието на вентилационните отвори на опаковки за дишащи продукти, като например банани. През тези отвори преминава определено количество етилен, влияещо на скоростта на процеса на зреене на плодовете. За нуждите на анализа те са използвали метода на крайните елементи (FEA). За целта са разработени модели с различни видове вентилационни отвори. Направено е проучване по отношение разпределението и големината на напреженията, възникващи в материала. След направените лабораторни измервания е установено, че оптималният модел на разполагане на вентилационните отвори е те да са вертикални и с продълговата форма, разположени симетрично на разстояние от дясно и ляво от центъра на предните и задните повърхности на опаковките от вълнообразен картон.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Създаването на модели, описващи напълно особеностите на опаковките от вълнообразен картон е невъзможно. Желанието те да отговарят по-пълно на реалността води до прекаленото им усложняване, което в повечето случаи не дава очакваните резултати. Като една възможност за лесно и в същото време с достатъчна точност моделиране на опаковки от вълнообразен картон е използването на метода на крайните елементи. За да се получат по-близки до реалността резултати при изследването на тези модели е необходимо да се знае поведението на материала при различни натоварвания.

Целта на настоящата работа е да се натрупа информация за напрегнатото състояние в материала при натоварване, предизвикващо изкълчване. Това е

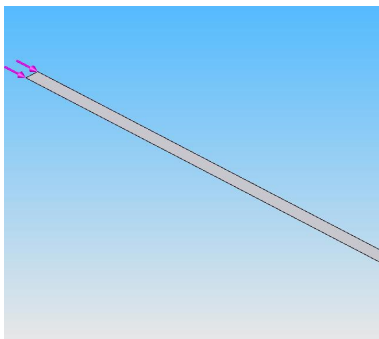


Фиг.1. Модел на изпитвания образец с построена мрежа, тип Shell MidSurface.

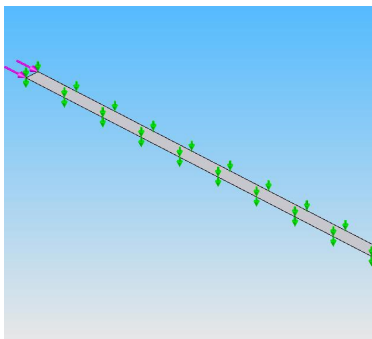
характерно за състоянието на опаковките от вълнообразен картон при натоварванията, които те понасят в реални експлоатационни условия при транспорт и съхранение.

За нуждите на изследването е разработен триизмерен модел на образец от вълнообразен картон. Моделът е построен в среда на SolidWorks. Конкретните му размери са 480x115x0,2 mm, като особеното за него е, че не съдържа характерните за вълнообразния картон слоеве лайнер и флутинг. Въпреки това моделът е съпоставим от гледна точка на теорията на метода на крайните елементи. Основната цел на това моделиране е създаването на опростена структура, при която провежданите изследвания

да са в условия, близки до реалните. След построяването на триизмерния модел се симулира неговото натоварване със сили по различните направления. Изпитванията са направени в среда на COSMOSWorks и SolidWorks Simulation. Проведени са изпитвания, като симулираните натоварвания предизвикват изкълчване на модела.



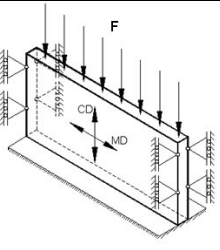
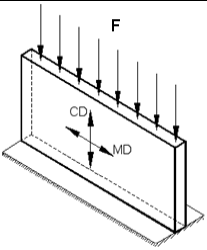
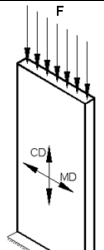
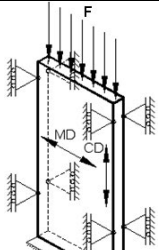
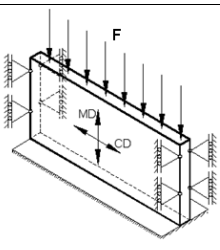
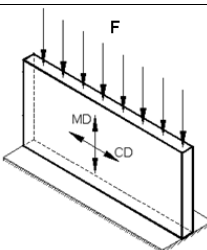
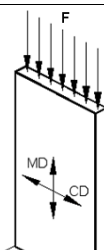
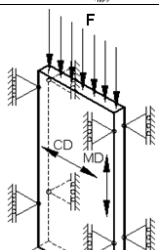
Фиг. 2. Натоварване на модела по машинното направление



Фиг. 3. Натоварване на модела с приложени странични опори

Използваният тип на мрежата от крайни елементи е Shell MidSurface. За проведеното изпитване тя е дефинирана по средната повърхност на построенния модел, показан на ф.1.Размер на крайните елементи 1,695 мм с допуск 0,085 мм.

Таблица 1

	Натоварване на модела по дългата страна		Натоварване на модела по късата страна	
	Приложени странични опори	Едностранно запъване	Едностранно запъване	Приложени странични опори
МОДЕЛ 1				
МОДЕЛ 2				

Проведени са няколко числени опита, симулиращи различни варианти на натоварвания, възникващи по време на експлоатация на опаковката.

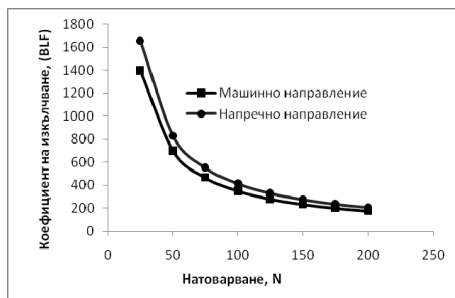
В таблица 1 са представени всички видове натоварвания, които са симулирани в среда на SolidWorks Simulation с разработения модел.

В първия случай направлението на прилаганото натоварване съпада с дължината на модела а също така и с машинното направление (MD). Натоварва се

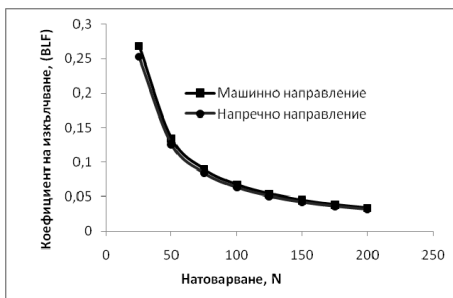
последователно (Design Scenario), като големината на прилаганата сила нараства със стъпка 25 N започвайки от 25 N и достигайки до 200 N. След това модела се подлага на същата поредица от натоварвания, но в този случай машиното направление е перпендикулярно на дължината на образца, т.е. натоварването е по напречното направление. Получените се резултати са представени в графичен вид.

РЕЗУЛТАТИ

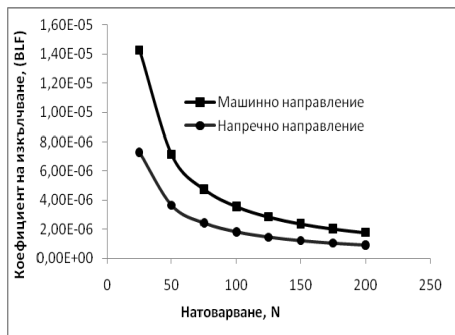
На фиг. 4-фиг. 7 са представени резултатите от проведените изпитвания.



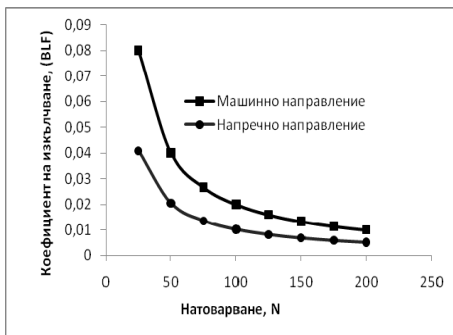
Фиг. 4. Зависимост на коефициента на изкълчване от натоварването при натоварване на модела по дългата страна с приложени странични опори



Фиг. 5. Зависимост на коефициента на изкълчване от натоварването при натоварване на модела по дългата страна с едностранно запъване



Фиг. 6. Зависимост на коефициента на изкълчване от натоварването при натоварване на модела по късата страна с едностранно запъване



Фиг. 7. Зависимост на коефициента на изкълчване от натоварването при натоварване на модела по късата страна с приложени странични опори

Изобразени са за всички случаи на натоварвания зависимостта на получения коефициент на изкълчване на модела от големината на натоварването за различните, описани в таблица 1 частни случаи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Получените резултати показват, че изследваните образци само при наличие на странични "sliding" опори са устойчиви срещу изкълчване при товар действащ по дългата страна. Причината за устойчивостта е свързана с ограничаване на възможността за преместване на образца в направление перпендикулярно на направление на действащия товар и по-малката дължина на образца в направление на действащата сила.

2. Коефициентът на устойчивост срещу изкълчване в машинното направление превишава този на CD направлението, като изключение има само за случая на използване на опори по страничните повърхнини при товар приложен по дългата страна на образца.

3. Зависимостта при двата модела между стойността на коефициента на устойчивост срещу изкълчване и големината на приложението товар е линейна. Най-съществена промяна в стойността на коефициента се наблюдава в интервала 50 - 125 N.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Biancolini M. E., C. Brutti,. Numerical and experimental investigation of the strength of corrugated board packages. Packaging Technology and Science, Volume 16 (2003), Issue 2, Pages: 47-60.

[2] Cui S., D. Fang, Analysis of the diffraction coefficients of corrugated surfaces with the use of a numerical GTD method, Microwave and Optical Technology Letters, Volume 15 (1997), Issue 5, Pages: 297-303.

[3] Deguchi H., N. Nagaya, I.Naito, S. Matsumoto, S. Makino, M.Masuda. An analysis of broadband corrugated conical horn antennas taking account of space harmonics due to mode converters. Electronics and Communications in Japan (Part I: Communications) Volume 81(1998), Issue 5, Pages: 10-19.

[4] Han J., J. M. Park, Finite element analysis of vent/hand hole designs for corrugated fibreboard boxes, Packaging Technology and Science, Volume 20 (2007), Issue 1, Pages: 39-47.

[5] Isaksson P., P. Gradin, Shear buckling in the core of a corrugated board structure, Composite Structures, Volume 88 (2009), Issue 4, pages 610-614.

[6] Kapasi H., J. Blackburn, C. Mias, The use of corrugated surfaces to improve wireless signal strength in the shadow region of buildings, Microwave and Optical Technology Letters, Volume 46 (2005), Issue 5, Pages: 467-469.

[7] Lee M. H., J. M. Park, Flexural stiffness of selected corrugated structures, Packaging Technology and Science, Volume 17(2004), Issue 5, Pages: 275-286.

[8] Nawrocki P. A., Z. P. Xu, K. T. Chuang, Mass transfer in structured corrugated packing, The Canadian Journal of Chemical Engineering, Volume 69 (1991), Issue 6, Pages: 1336-1343.

[9] Parker M. E., J. E. Bronlund, A. J. Mawson, Moisture sorption isotherms for paper and paperboard in food chain conditions, Packaging Technology and Science, Volume 19 (2006), Issue 4, Pages: 193-209.

[10] Prabakaran B. N., J. A. Marcondes, Effect of specimen size on test results to determine cushioning characteristics of corrugated fibreboard, Packaging Technology and Science, Volume 8 (1995), Issue 2, Pages: 85-95.

[11] Sotoudeh O., P. S. Kildal, Z. Sipus, Study of high-efficiency corrugated hard-horn antennas using classical approaches: Hard circular waveguide mode, phase factor, and aperture integration, Microwave and Optical Technology Letters, Volume 44 (2005) Issue 6, Pages: 516-523.

[12] Takeda F., Broadbanding of feed horn utilizing corrugated waveguide with two kinds of slots, Electronics and Communications in Japan (Part I: Communications), Volume 80 (1997). Pages: 12-21.

За контакти:

Доц. д-р инж. Стефан Стефанов, Катедра "Машини и апарати за хранителновкусовата промишленост", Университет по хранителни технологии, Пловдив, тел.: 032-603 814, e-mail: stvstefanov@yahoo.com

Докладът е рецензиран.