

Моделиране на вълнообразен картон с използване на метода на крайните елементи

Делян Господинов, Вилхелм Хаджийски, Стефан Стефанов

Abstract: *The use of corrugated paperboard is constantly expanding for producing of vast variety of boxes and packages, items for the advertising industry as well as artistic creations. Number of newly introduced regulations on the grounds of ecology have set requirements for lowering the use of material and making the products lighter. One way of meeting those requirements goes through optimization of the corrugated paperboard which can be achieved by using models based on the finite element method. It gives us the opportunity to study the interaction between each of the layers and their complex influence on the composite structure.*

Key words: modeling FEM corrugated paperboard

ВЪВЕДЕНИЕ

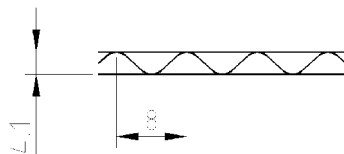
При производството на опаковки изключително широко приложение намира вълнообразният за изработването на голямо разнообразие от пакети и кутии. През последно време той се използва и за направата на рекламни материали както и художествени произведения.

Вълнообразният картон представлява композиционен материал – многослойна структура. Всеки един от тези слоеве може да бъде изработен от различни материали с различаващи се свойства. Механичното взаимодействие между отделните слоеве представлява интерес, като изучаването на това взаимодействие се налага с цел изясняване на възможностите за оптимизиране на този материал. Едно такова оптимизиране се налага поради редица новоприети нормативни документи чрез които институциите изискват от производителите на опаковки да се понижат масата произвежданите от тях продукти и по този начин да се намали изразходвания количеството на изразходван материал. Това се налага предимно от екологични съображения.

Изучаването на механичното взаимодействие между отделните слоеве съставляващи вълнообразния картон може да се осъществи чрез използването на дискретни модели основаващи се на метода на крайните елементи. Тези модели трябва да отчитат особеностите на хартията, която е основна суровина използвана за получаването на вълнообразен картон.

ИЗЛОЖЕНИЕ

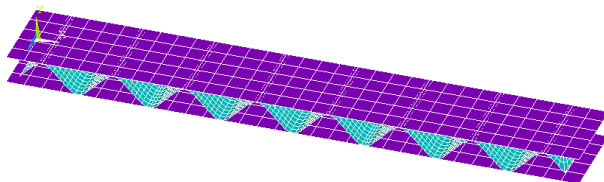
Представения модел е на вълнообразен картон, чийто геометрични параметри съответстват на вълна „С“. Изобразени са схематично на фигура 1, като посочените размери са в милиметри.



Фиг. 1. Схематично представяне на размерите на модела.

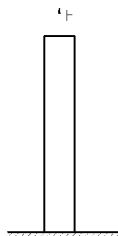
Моделът е разделен на 2399 квадратични елемента тип Shell с общо 7636 възлови точки. Елементите съставляващи външните слоеве (лайнери) са със страна 2 мм. а тези използвани при вътрешния гофриран слой (флутинг) не са с постоянен

размер, което се налага поради по-сложната му форма. Shell елемента е с 8 възлови точки. Степените му на свобода са 6. Така описания модел е показан на фигура 2.



Фиг. 2. Модел с мрежа от крайни елементи.

Напрегнатото състояние се изследва при натоварване на опън като прилаганата сила нараства със стъпка 8 N до максималната си стойност от 160 N. Схема на натоварването е показана на фигура 3.



Фиг. 3. Схема на натоварването

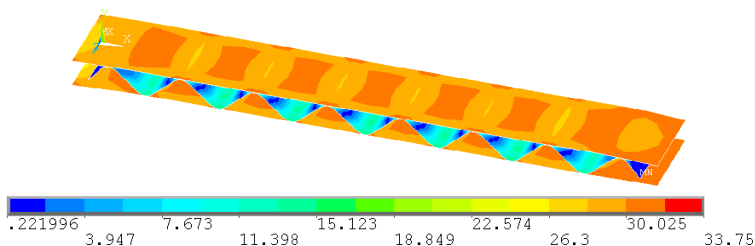
При разглеждането на контактните условия между външните слоеве (лайнери) и вътрешния гофриран слой (флутинг) се пренебрегват адхезионните и механични свойства на използваните от индустрията лепила. Връзката се разглежда като идеално твърда. Също така се пренебрегва и триенето между тези слоеве. Контактът се разглежда като осъществяван по една линия, което на практика не е така.

Механичните свойства на материалите използвани за отделните свойства са дадени в таблица 1.

Таблица 1. Механични свойства на използваните материали [2]

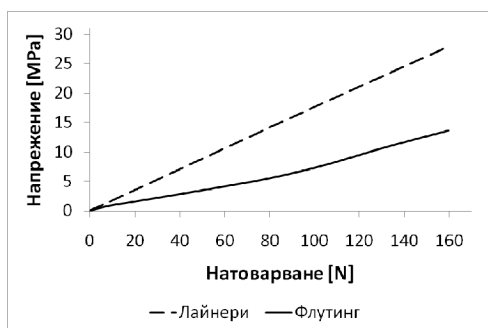
Показател/Слой	Лайнери	Флутинг
Модул на еластичност E [MPa]	4433,5	5106,7
Якост на опън R _B [N]	146,8	123,7

На фигура 4 е показано разпределението на напреженията при максималното натоварване от 160 N. Стойностите на напреженията са в MPa.



Фиг. 4. Разпределение на еквивалентното напрежението при максимално натоварване от 160 N

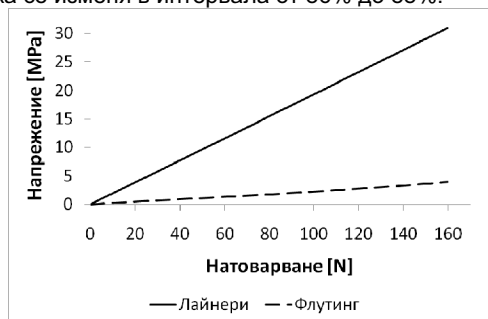
На следващата графика (фигура 5) е показано сравнение между стойностите на напрежението във флутинга и лайнерите в зоната на контакт.



Фиг. 5. Разлика между напрежението във флутинга и лайнерите в зоната на контакта

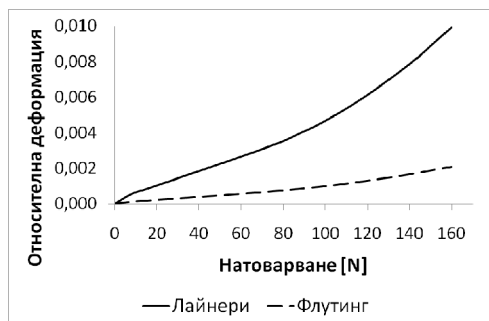
На фигура 6 е показано сравнение между стойностите на напрежението във флутинга и лайнерите извън зоната на контакт. От нея се вижда, че тук разликата в големините на напреженията е доста по-голяма.

При контактната зона относителната разлика между стойностите на напреженията варира в интервала от 43% до 61% а извън контактната област тази относителна разлика се изменя в интервала от 86% до 88%.

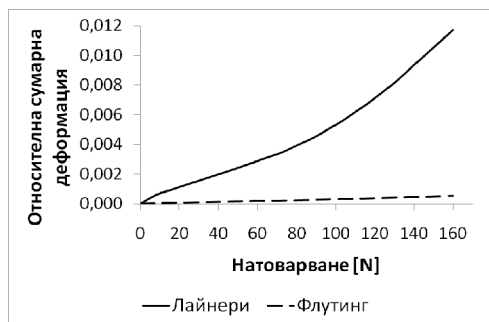


Фиг. 6. Разлика между напрежението във флутинга и лайнерите извън зоната на контакта

На фигура 7 е показано аналогично сравнение, но за относителната деформация в тези две области.



а) в зоната на контакт



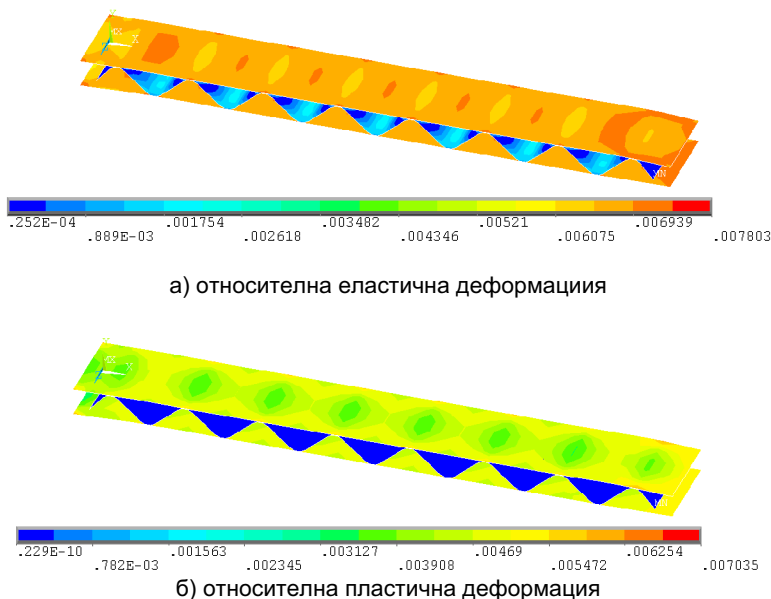
б) извън зоната на контакт

Фиг. 7. Разлика между относителната деформация във флутинга и лайнерите при зоната на контакта.

От графиките се вижда, че в зоната на контакт отново разликата е по-малка отколкото извън тази област.

От друга страна във флутинга относителната пластичната деформация е със стойности от $2,49 \cdot 10^{-11}$ до $2,07 \cdot 10^{-4}$. Стойностите са достатъчно малки за да бъдат пренебрегнати. От тях става ясно, че флутинга не се деформира пластично а само еластично.

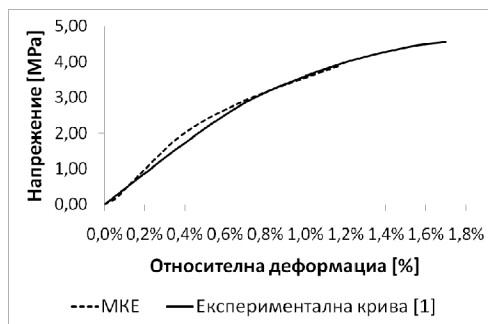
На следващата фигура 9 е показано разпределението на еластичната и пластична относителна деформация при максимално натоварване от 160 N. От нея може ясно да се види, че във вътрешния гофриран слой пластична деформация не е налична, докато в зоните на деформация се забелязва еластично деформиране.



Фиг. 8. Разпределение на относителната еластична и пластична деформация.

РЕЗУЛТАТИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Използвайки получените резултати се определя се построява крива „деформация – напрежение“ на описания модел. Получената графика е показана на фигура 9. За сравнение е показана и крива „деформация – напрежение“ получена по експериментален път за образец от еднослоен вълнообразен картон със стъпка на вълната 8 мм. и дебелина 4,1 мм.



Фиг. 10. Еквивалентна крива „деформация – напрежение“ за модела

От фигура 10 се вижда, че се получава задоволително съответствие между експериментално определената характеристика и получената по метода на крайните елементи. От това следва, че посочения модел би могъл да се използва за изследване на напрегнатото състояние на вълнообразния картон, което би спомогнало за неговото оптимизиране.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Rami Haj-Ali, Joonho Choi, Bo-Siou Wei, Roman Popil, Michael Schaepe - Refined nonlinear finite element models for corrugated fiberboards.

[2] S. Allaoui, Z. Aboura, M.L. Benzeggagh - Phenomena governing uni-axial tensile behaviour of paperboard and corrugated cardboard.

[3] Господинов Делян, Хаджийски Вилхелм, Приложение на съвременни методи за инженерен анализ при оптимизиране на опаковки от вълнообразен картон.

[4] Господинов Ділян, Стефанов Стефан, Хаджийські Вілхелм, Аналіз напруженого стану гофрованого картону методом кінцевих елементів.

[5] Хаджийски Вилхелм, Стефанов Стефан, Господинов Делян, Анализ на напрегнатото състояние на вълнообразен картон

За контакти:

Делян Николаев Господинов, асистент, Университет по хранителни технологии, Пловдив, катедра „Машини и апарати за хранителновкусовата промишленост”, dgosp@abv.bg

Вилхелм Милков Хаджийски, д-р, Университет по хранителни технологии, Пловдив, катедра „Техническа механика и машинознание”, hawi@abv.bg

Стефан Василев Стефанов, доц., д-р, Университет по хранителни технологии, Пловдив, катедра „Машини и апарати за хранителновкусовата промишленост”, stvstefanov@yahoo.com

Докладът е рецензиран.