

Използване на метода на крайните елементи за изучаване на влиянието на вида на контакта между отделните слоеве във вълнообразния картон върху механичните му свойства

Делян Господинов, Стефан Стефанов, Вилхелм Хаджийски

Using of the finite element method for studying the effect of the type of the contact between the individual layers of the corrugated paperboard on its mechanical properties: Corrugated paperboard is widely used material for producing different types of packages, pieces of art, decorative furniture, interior shelters for pets and many others. Demand and production of this material have grown drastically for the past decade. Need has appeared for optimization of the products made of this material, so the amount of paper is lowered but the quality characteristics are preserved. The finite element method gives us the chance to study the corrugated paperboard in details and obtain a clearer knowledge about the interaction of the individual layers and how they effect its complex strength. A study has been carried on the types of the contact between the flute and the liners on the equivalent mechanical properties of the corrugated paperboard.

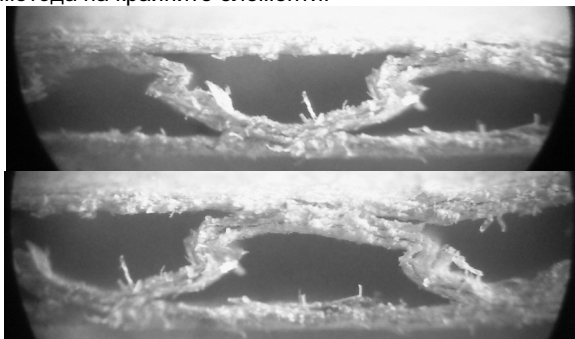
Key words: FEM, corrugated paperboard, layers, type of contact, mechanical characteristics.

ВЪВЕДЕНИЕ

Вълнообразният картон е материал, който се използва широко за изработването на различни видове опаковки, които от своя страна се използват за пакетиране на голямо разнообразие от стоки. Количествата на произвеждана хартия и картон нараства в световен мащаб [2, 5]. То обаче има негативно въздействие върху околната среда [1]. Това води до необходимостта от понижаване на количествата на влаган материал при изработването на различните изделия при запазване на основните им качествени показатели. За целите на оптимизирането могат да се използват съвременни методи за инженерен анализ [6, 7, 8].

Вълнообразният картон е многослойна структура, състояща се най – често от три слоя – два плоски, наречени „лайнери“ и разделени с един вълнообразен, наречен „флутинг“ [3, 4, 8]. Отделните слоеве се съединяват посредством лепила, като това се извършва на автоматизирани производствени линии. В идеалния случай контактът между лайнерите и флутинга би трябвало да се осъществи по една линия. На практика обаче се получава известна деформация на вълнообразния слой и контактът се осъществява по площ с определено сечение. Това е показано на фигура 1 при 25-кратно увеличение. Степента на деформация на вътрешния слой, както и големината на това контактно сечение в общия случай зависи от определени технологични параметри в хода на производството на вълнообразния картон. Това оказва влияние върху основните механични свойства на този картон.

За изучаване на влиянието на вида на контакта между отделните слоеве може да се използва метода на крайните елементи.

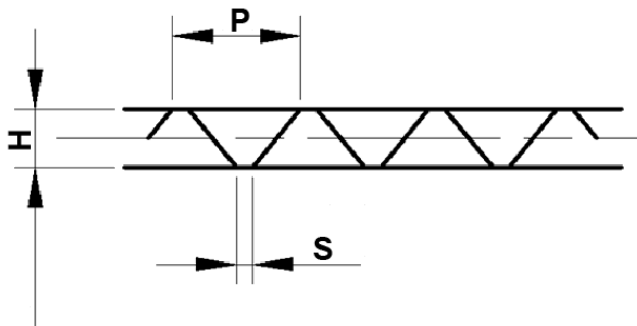


Фиг. 1. Реален контакт между слоевете във вълнообразния картон (x25)

МОДЕЛИ БАЗИРАНИ НА МЕТОДА НА КРАЙНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ

Първоначално е разработен модел на вълнообразен картон със стъпка на флутинга 8 mm и височина на вълната 4,1 mm. Той се подлага на опън с нарастваща по големина сила и получените резултати за разпределението на напреженията и деформацията се използват за построяване на еквивалентна крива „напрежение – деформация“ на вълнообразния картон. След това тя се сравнява с експериментално получена такава [3, 4, 8]. Получава се достатъчно добро съответствие между двете криви, което ни дава основание да предполагаме, че предложеният модел дава достатъчно достоверни резултати и може да бъде използван за по-подробно изучаване на деформационното и напрегнато състояние на вълнообразния картон [8].

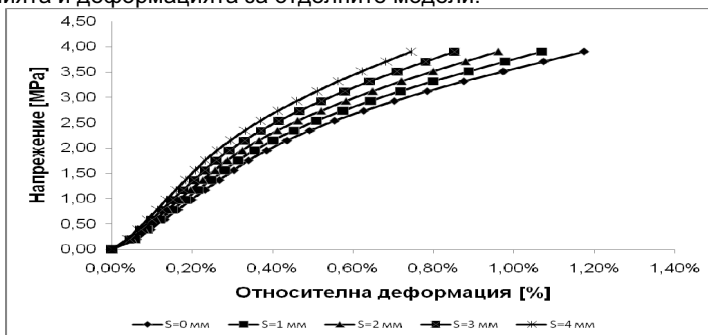
За целта на изучаването последователно се разработват още четири модела с различна ширина S на контактната площ (фигура 2), които също се подлагат на опън, като стъпката P и височината H остават непроменени. Първия модел разглежда теоритичния контакт осъществен по линия. При останалите модели за S са използвани стойностите както следва: 1, 2, 3 и 4 mm.



Фиг. 2. Геометрични параметри на флутинга за различните модели

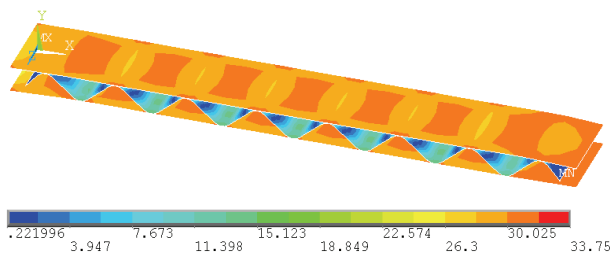
Получените резултати се използват за построяване на еквивалентните криви „напрежение – деформация“ за отделните модели, след което те се сравняват. Това сравнение е показано на фигура 3.

От диаграмата ясно се вижда характерът на изменението. Става ясно, че с увеличаване на широчината на площта на контакт между слоевете се повишава коравината на вълнообразния картон – т.е. повишава се модула на еластичност E . Обяснение за това се получава след изучаване на разпределението на напреженията и деформацията за отделните модели.

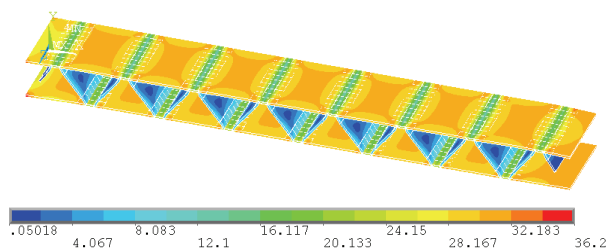


Фиг. 3. Сравняване на получените диаграми „напрежение – деформация“ за отделните модели

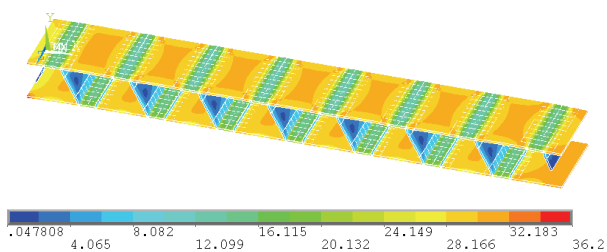
На фигура 4 е показано разпределението на напрежението за отделните модели при максимална големина на приложеното натоварване, която е 160 N.



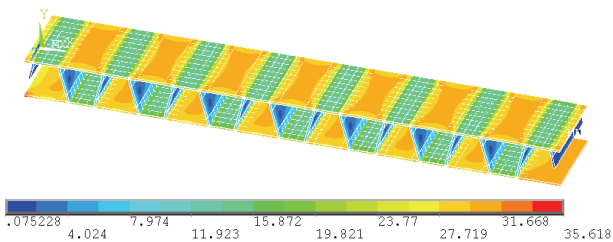
а) теоритичен контакт по линия



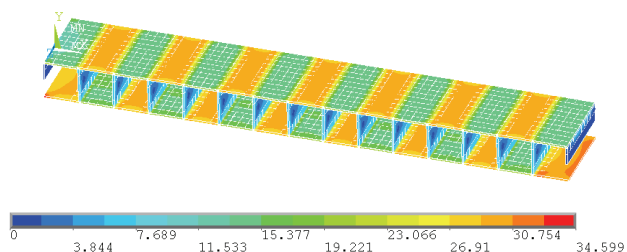
б) $S = 1$ мм.



в) $S = 2$ мм.



г) $S = 3$ мм.

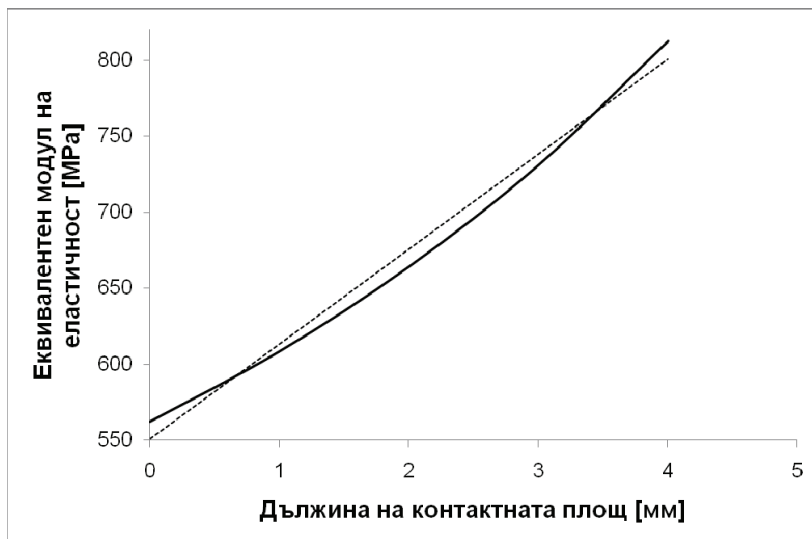


д) $S = 4$ мм.

Фиг. 4. Разпределение на напреженията в отделните модели

При изследване на разпределението на напреженията се вижда, че в зоната на контакт между отделните слоеве напреженията са доста по-малки, отколкото извън нея [8]. Също така се забелязва, че с увеличаване на площта на контакта се увеличава и областта на по-ниски напрежения за сметка на областта с по-високи напрежения, която се свива. Именно това преразпределение на напреженията води до понижаване на деформацията и повишаване на коравината на картон.

Изменението на еквивалентния модул на еластичност на вълнообразния картон в зависимост от широчината на контактната площ е показано на фигура 5. От нея се вижда, че то е с нелинеен характер.



Фиг. 5. Изменение на модула на еластичност в зависимост от широчината на контактната площ

Получената зависимост е нанесена на фигура 5 с пълтна дебела линия, докато с тънката прекъсната линия е представено уравнението на регресия. То има следния вид:

$$Y(X) = 62,44.X + 550,71$$

(1)

Коефициента на детерминация R^2 за това уравнение е 0,98. От него, както и от графиката на фигура 5 се вижда, че с повишаване на площта на контакта между слоевете се повишава еквивалентния модул на еластичност на вълнообразния картон.

Наблюдава се и понижаване на стойностите на напреженията, което показва че с увеличаване на контактната площ се постига и уякчаване на картонa. Това разбира се води и до увеличаване на количеството използван материал – хартия и картон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повишаването на контактната площ между слоевете на вълнообразния картон води до повишаване на коравината му, както и якостта му. От уравнение 1 следва, че еквивалентния модул на еластичност се повишава с около 62 МПа на един милиметър широчина на контактната площ. Следва да се отбележи, че при това изследване не са взети в предвид механичните характеристики на използваните от индустрията лепила а контакта се разглежда като идеално твърд. Повишаването на контактната площ също така води и до увеличаване на количеството влаган материал.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Confederation of European Paper Industries, Sustainability Report 2009
- [2] FEFCO ANNUAL STATISTICS 2010
- [3] Gospodinov Delyan, Hadjiiski Vilhelm, Stefanov Stefan, Using of finite element method studying the effect of basic geometric parameters of corrugated paperboard over its mechanical properties. 11th international conference "Research and development mechanical industry", RaDMI 2011, 15 – 18 September 2011, Sokobanja, Serbia, F 512
- [4] Gospodinov Delyan, Stefanov Stefan, Hadjiiski Vilhelm, Use of the finite element method studying the influence of different layers on mechanical characteristics of corrugated paperboard, Technical Gazette 18, 3(2011), 357-361
- [5] Tissari Jukka, HIGHLIGHTS ON PAPER AND PAPERBOARD: 1999- 2009, FAC ForesSTAT, 2011
- [6] Господинов Делян, Приложение на метода на крайните елементи за изучаване на свойствата на вълнообразния картон, Хранителна наука и технологии 2011, Тр Свитък 3, 365-370, 2011
- [7] Господинов Делян, Хаджийски Вилхелм, Приложение на съвременни методи инженерен анализ при оптимизиране на опаковки от вълнообразен картон, И трудове на УХТ Пловдив, Том LVI, свитък 2, стр. 319 – 324
- [8] Господинов Делян, Хаджийски Вилхелм, Стефанов Стефан, Моделиране на вълнообразен картон с използване на метода на крайните елементи, НАУЧНИ ТРУДОВЕ НА РУСЕНСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ - 2010, том 49, серия 9.2, стр. 114 – 119

За контакти:

Доц. д-р инж. Стефан Стефанов, Катедра "МАХВП", УХТ-Пловдив
тел.: 359 32 603 814, E-mail: stvstefanov@yahoo.com

Докладът е рецензиран