

Изследване на поведението на образци от плосък и вълнообразен картон при натоварване на натиск

Делян Господинов, Вилхелм Хаджийски, Стефан Стефанов

Study of of the behavior of flat and corrugated paperboard during compressive loading:

Corrugated paperboard is the most used material for producing different types of boxes used for packaging stock items for the purpose of transportation and storing. Most oftenly they are stored in stacks by arranging packages one above another. Lower-level boxes are then subjected to compressive loading from the weight of the upper boxes. The ability of a package to withstand such forces is an important characteristics which depends on the strength parameters of the corrugated paperboard used for its production. Experimental study is conducted on corrugated paperboard samples which are subjected to compressive loading and equivalent characteristics are determined. Specimens of flat paperboard are also tested in order to obtain information about the influence of the individual layers of the corrugated paperboard on its equivalent mechanical characteristics.

Key words: paperboard, corrugated, experimental, determination, mechanical, properties, compressive, loading.

ВЪВЕДЕНИЕ

Вълнообразния картон е материал намиращ изключително широко приложение в областта на опаковането. Той се използва за направата на голямо разнообразие от кутии, както и други видове опаковки. Причините за това широко приложение са няколко, като една от тях е способността му да издържа на механични натоварвания.

Една от основните функции на опаковките е защитната. Те трябва да предпазят опакованите изделия от вредните въздействия на околната среда. Най-често срещаното приложение на опаковките от вълнообразен картон е свързано с осигуряването на условия за транспорт и складиране на различни продукти.

При транспортиране често кутиите се подреждат на стилажи една върху друга. По този начин тези които са разположени на по-долни нива в стилажа се подлагат на натисково натоварване, възникващо от тежестта на кутиите поставени на по-горните нива. Когато големината на това натоварване надвиши определена стойност – критична за дадената опаковка, настъпва изкълчване в стените и смачкване на опаковката. Това може да доведе не само до увреждане на опакованите изделия, но и до аварийни ситуации поради разпадане на целия стилаж.

Способността на една опаковка да издържа на такова натоварване се оценява посредством провеждането на експериментални изпитания. Чрез тях се определя максималната големина на натоварващата сила, която една кутия е способна да издържи.

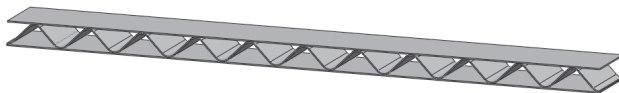
Влияние върху тази характеристика на опаковката оказват механичните свойства на вълнообразния картон използван за нейното производство, а също така и нейните основни геометрични параметри. Съществуват формули даващи възможност да се изчисли теоритична стойност на максимално допустимата сила за една опаковка, като се знаят определени показатели на материала от който е изработена, както и нейнината дължина, широчина и височина [4]. Тези формули обаче не осигуряват необходимата точност.

Редица европейски директиви приети през последните години налагат изискване спрямо производителите на изделия от хартия и картон, да се намали количеството на влагания материал. Това разбира се не трябва да довежда до влошаване на основните якостни показатели на тези изделия.

Необходима е оптимизация на произвежданите опаковки, която може да се осъществи чрез използване на съвременни методи за инженерен анализ [2], като метода на крайните елемент. За да бъде приложим този метод за изделия

изработени от вълнообразен картон са необходими по-задълбочени познания за неговите механични свойства, както и на факторите които оказват влияние върху тях. Едно такова изучаване може да се постигне чрез провеждане на експериментални изследвания.

Най-често вълнообразния картон се състои от три слоя: два външни, който са плоски и един вътрешен, който е навълнен (фигура 1). Еквивалентните му механични свойства зависят от свойствата на картоните от които съставят тези три слоя, както и негови основни геометричните параметри, като стъпка и височина на вълнатата на навълнения слой [1].

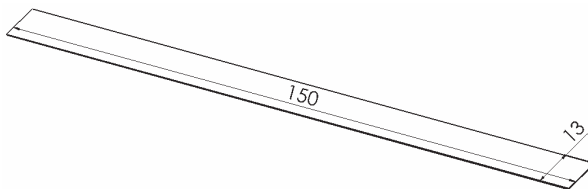


Фиг. 1. Обща структура на вълнообразния картон

ИЗЛОЖЕНИЕ

Поради факта, че вълнообразния картон се състои от няколко слоя плосък картон, е необходимо да се проведат изпитания на образци от този тип картон, за да се изучи по-подробно поведението му при натоварване на натиск.

За целта на изследването се използват пробни тела, чиито размери са съобразени с изискванията на действащите стандарти. При изпитването на плосък картон на натиск те са с правоъгълна форма. Дължината им е 150 mm., а широчината 13 mm. Схема на един такъв образец е показана на фигура 2.



Фиг. 2. Схема на образец за изпитване на плосък картон на натиск

Изпитват се образци от два типа плосък картон – тип SF и тип SL. Първия се използва при производството на вълнообразен картон, като се подлага на навълняване и се използва за направата на вътрешния слой. Неговата дебелина е 0,175 mm. Втория тип картон се използва за направата на двата външни равнинни слоя. Дебелината му е 0,186 mm.

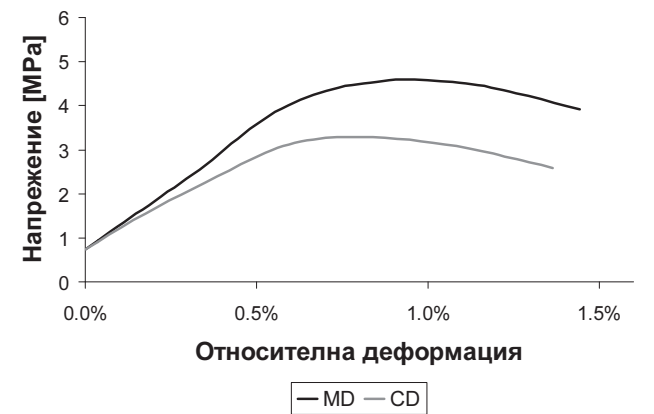
Преди провеждане на изпитанията образците престояват 48 часа в среда с температура 21,3° C и относителна влажност 48,6 %. Това се налага поради силното влияние, което влагата оказва върху механичните свойства на хартията и картоната [3].

При изпитването на натиск на плосък картон образеца се огъва по окръжност с диаметър 48,7 mm. Тази стойност на диаметъра е избрана, така че да бъде кратна на числото π, което улеснява последващи изчисления свързани с обработването на резултатите.

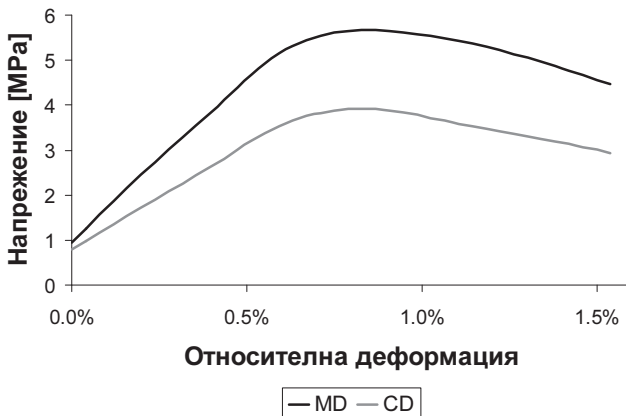
Самото изпитание се провежда на уред тип преса, като образеца се поставя между две повърхности – плочи. Едната е подвижна а другата неподвижна, като тя служи за опора. Посредством намаляване на разстоянието между тях се реализира натоварването на натиск на образеца. Измерва се големината на натоварването както и преместването на повърхнината на образеца, която контактува с подвижната

плоча на изпитвателния стенд. Механичното въздействие продължава до момента в който се регистрира спад в големината на прилаганата сила при нарастваща стойност на преместването, което е индикация, че е настъпило изкълчване в изпитваното пробно тяло.

Тъй като геометричните параметри на образците са известни, използвайки измерените стойности за натоварването и преместването се определя напрежението и относителната деформация. Построяват се диаграмите „напрежение – деформация“ за двата типа плосък картон. Те са показани на фигура 3 и фигура 4. Означенията MD (Machine Direction) и CD (Cross Direction) са съответно за машинно и напречно направление на картоната.



Фиг. 3 Диаграма „напрежение – деформация“ за плосък картон тип SL при натоварване на натиск



Фиг. 4 Диаграма „напрежение – деформация“ за плосък картон тип SF при натоварване на натиск

От диаграмите се вижда първоначално линейно нарастване на напрежението, като при натоварване в машинно направление, то е по-голямо отколкото в напречно направление. При достигане на определена големина на напрежението се получава

спад в неговото нарастване, след което се достига максимум след който започва понижаване при интензивно нарастваща деформация. Максималното напрежението σ_{\max} е тава при която настъпва изкълчване. Неговите стойности за изпитаните типове картони са дадени в таблица 1.

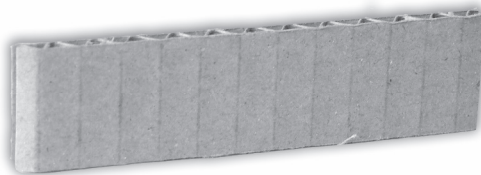
Определя се тангенса $E_{\text{усл}}$ на ъгъла на наклона на линейния участък, чиито стойности са дадени в таблица 1. Означението F_{\max} е за големината на натоварващата сила за конкретния тип картон, при която е настъпило изкълчване.

Таблица 1 Получени стойности от изпитания на образци от плосък картон

Тип картон	Напр.	F_{\max} [N]	σ_{\max} [MPa]	$E_{\text{усл}}$ [MPa]
SL	MD	136,56	4,89	566,34
	CD	97,62	3,50	419,01
SF	MD	156,62	5,97	719,02
	CD	108,50	4,13	465,32

От стойностите в таблица 1, както и от графиките на фигура 3 и 4 се виждат високите яктни показатели на картона при натоварване в машинно направление, отколкото при натоварване в напречно направление.

Изследването продължава с изпитване на натиск на образци от вълнообразен картон. Те са също с правоъгълно сечение (фигура 5), като дължината им е 100 mm. а широчината 24 mm.



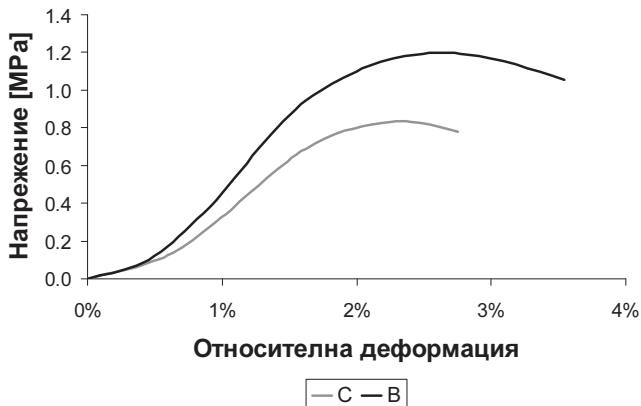
Фиг. 5. Образец от вълнообразен картон за изпитване на натиск

Изпитанието се провежда на стенд тип преса, като натоварването се прилага посредством подвижна плоска повърхност, която контактува с повърнина на образеца, докато той е поставен върху неподвижна основа. Силата, чиято големина нараства с определена скорост, се прилага до момента в който се регистрира понижение в стойността и при продължаващо интензивно деформиране на образеца. Деформацията се определя, като се измерва преместването на повърхнината на образеца, която контактува с подвижната повърхност на изпитвателния стенд.

Преди самото изпитание, пробните тела престояват 48 часа в помещение с температура 21,3° C и относителна влажност 48,6%.

Използват се образци от вълнообразен картон с два различни типа на вълната [2] – вълна тип „С” и вълна тип „В”. Плоските слоеве на двата типа вълнообразен картон са направени от плосък картон тип SL а навълнените слоеве от плосък картон тип SF.

От получените данни за големината на натоварването и деформацията, при известни геометрични размери на образците се определя еквивалентната диаграма „напрежение – деформация” на вълнообразния картон. Тъй като според изискванията на стандарта това изпитание се извършва само при натоварване в напречно направление, не са провеждани тестове при натоварване в машинно направление. Получените диаграми са показани на фигура 6.



Фиг. 6 Диаграми „напрежение – деформация“ за образци от вълнообразен картон с тип на вълната С и В

От диаграмите се вижда, аналогичното поведение на вълнообразния картон с това на образците от плосък картон.

Таблица 2 Получени стойности от изпитания на образци от вълнообразен картон

Тип	F _{max} [N]	σ _{max} [MPa]	E _{усл,екв} [MPa]
С	334,00	0,86	60,16
В	365,50	1,22	81,70

Определя се тангенса $E_{усл,екв}$ на ъгъла на наклона на линейния участък от диаграмите за двата типа вълнообразен картон. Данните са представени в таблица 2. С F_{max} е означена силата при която е настъпило изкъпчване в образца.

От данните в таблица 2 се вижда, че вълнообразния картон с тип на вълната В е с по-добри якостни характеристики. Максималната допустима сила, която е измерена за този тип картон е с 9,43% по-голяма от тази на картон с тип на вълната С. Картон тип В е и по-корав, което се вижда от стойностите на тангенса на ъгъла на наклона на линейния участък от кривите.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данните получени чрез проведените експерименти върху образци от плосък и вълнообразен картон дават възможност да се изучи по-подробно поведението им при условията на натоварване на натиск.

Получените диаграми „напрежение – деформация“ за тези материали дава възможност да се определят техни механични характеристики, които могат да бъдат използвани при построяването на триизмерни модели базирани на метода на крайните елементи на изделия от този тип материали. Тези модели биха били приложими от инженерите на етапа на конструиране на нови продукти от плосък и вълнообразен картон, като опаковки.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Господинов Д., Приложение на метода на крайните елементи за изучаване на свойствата на вълнообразния картон, Хранителна наука техника и технологии – 2011, стр 365-369, 2011.

[2] Господинов Д., Хаджийски В., Приложение на съвременни методи за инженерен анализ при оптимизиране на опаковки от вълнообразен картон, НТ-УХТ-Пловдив, том LVI, св. 2, 319-324, 2009 год.

[3] Gospodinov Delyan, Stefanov Stefan, Hadjiiski Vilhelm, Use of the finite element method in studying the influence of different layers on mechanical characteristics of corrugated paperboard, Technical Gazette, Number 3, Volume 18, ISSN 1330-3651, p. 357-361, 2011

[4] McKee, R.C., J.W. Gander, J.R. Wachuta., Compression strength formula for corrugated boxes // Paperboard Packaging, vol. 48, no. 8, pp. 149-159, 1963

За контакти:

Проф. Стефан Стефанов – катедра МАХВП, УХТ Пловдив

Докладът е рецензиран.