

Изследване на значимо влияещи фактори върху големината на силата на отваряне на картонени кутии

Стефан Стефанов, Надя Арабаджиева, Вилхелм Хаджийски

Abstract: *The conducted series of experiments to determine the factors affecting the magnitude of the force for opening of cardboard box. The influence of the key factors such as: moisture of the cardboard, mass per area cardboard, remaining, deformation and degree of creasing. Regression models have been written on the dependency between the opening force of the cardboard box from basic influential factors.*

Key words: *force of opening, folding boxes, paperboard, packaging operation*

ВЪВЕДЕНИЕ

С цел поевтиняване на картоните в средните слоеве се използват суровини, които са с по-ниско качество, пълнителни, различни минерали. Вследствие на това при по-нататъшните обработки, изискващи големи механични натоварвания, натиск в определени зони, деформации, се нарушава вътрешната им структура, което води до появата на така нареченото разслояване [8, 10, 11, 13].

В настоящата работа се разглежда влиянието на влажност на картоната, маса на единица площ на картоната, остатъчни деформации, степен на биговане.

Неправилното съхранение на форматирания картон при висока влажност (над 70% RH) и ниски температури под (10 °C) може да доведе до промяна на размерите и навълняване при следващите облагородяващи операции. Могат да възникнат проблеми и при нанасянето на печата, както и появата на пукнатини при съгъването на опаковките.

Посочените проблеми оказват влияние върху силата на отваряне на картонените кутии. Проявлението на тези проблеми са следните:

- **Невъзможност за отваряне на кутиите** - дължи се на някои от следните причини: недостатъчна умора на материала в биговите линии; по-голяма твърдост на картоната; по-голяма дебелина на картоната;

- **Заклинване на неразгънатата кутия в магазина** - дължи се на размер на неразгънатата кутия над допустимия максимален размер или под минималния допустим размер, при което се изкривява.

Причина за затрудненото отваряне на съгъваемите кутии от опаковъчните машини е и изкорубването на заготовките. Дължи се на неправилно съхранение на кутиите в складовите помещения и във вторичните опаковки. Натискът, оказван от горните опаковки върху долните в съчетание с овлажняването им често води до увеличаване на кривината, което е причина за по-голямо съпротивление при отварянето на кутиите.

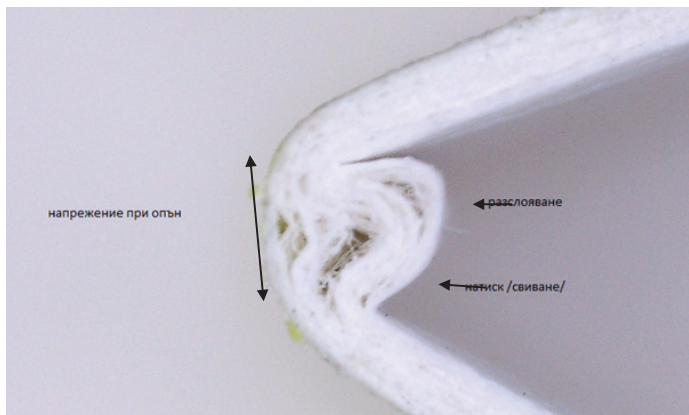
Преодоляването на тези дефекти в някои случаи е възможно с увеличаване на силата на вакуум захватите (т.е. силата на отваряне) или промяната на техния брой и размери. В тези случаи е необходимо да се направят някои корекции, които в повечето случаи са свързани с разходи, които при по-добра организация биха могли да се избегнат. За тази цел още на етапа на конструирането на съгъваемите кутии е необходимо да се разработват модели и да се експериментира директно върху опаковъчната машина. Недостатък на този начин на работа е най-вече отдалечеността по място на фирмите, разработващи опаковката и фирмите, които ще я ползват. Съществуват съвременни методи за анализ на процеса на отваряне на кутиите на опаковъчните машини, които дават възможност да се симулират натоварванията върху опаковката и възможностите, които имат механизмите за изтегляне на кутиите от магазините, където се съхраняват в ориентирано състояние и отварянето им за понататъшното опериране с тях.

Важно свойство при сгъването на картонени кутии е способността картона да се разслоява в зоната на бига, за да се освободи напрежението от външната страна на биговата линия, като по този начин се предотвратява появата на пукнатини. Проблемът нараства при операциите, свързани с офсетовия печат при промяна вискозитета на мастилата. Свойствата на картона са силно зависими от влажността, защото връзките „влакно-влакно“ са водородни и могат да бъдат удължени от една верига на водните молекули и като резултат да бъдат по-гъвкави. При преобразуващите операции на картона се забелязва ясна разлика в конвертируемостта (облагородяването) между лятото и зимата, които показват връзката на влажността и температурата на атмосферния въздух върху поведението на картона [1, 5, 14]. Влиянието на мастилото върху механичното поведение на картона е свързано с химичното взаимодействие с покритието и дебелината на слоя мастило.

Barbier, Canella, Carlsson и др. [2, 3, 4, 5] изследват основните причини за възникването на проблемите с появата на пукнатини в биговите линии:

- Вътрешната и външната страна на разгъката са подложени на различни видове напрежения: външната страна е подложена на опън, а вътрешната страна е подложена на натиск (фиг. 1).

- Операцията прегъване на картона се основава на способността на картона да се разслоява вътрешно, което ще даде възможност за намаляване на натиските сили, генерирани от вътрешната страна на бига.



Фиг. 1. Разслояване на картона в зоната на сгъване

Необходимо е покривните слоеве да имат високо повърхностно удължение и достатъчна якост на опън при сгъване. Barbier и др. [3] твърдят, че покривният слой подобрява съпротивлението при сгъване, когато е проникнало в основата, което може да бъде в противоречие с получаването на добър печат.

Giampieri, Hicks, Nagasawa и др. [7, 9, 12] изучават свойствата при сгъване в машинно и в напречно направление. Те твърдят, че остатъчното съпротивление на опън е по-голямо при сгъването на хартията в машинно направление, отколкото в напречно. Качеството на сгъване е добро, ако прегъването е прецизно, а разслояването се среща само в зоната на биговия канал. Много параметри влияят на качеството, като: геометрия; дълбочина на бига и скоростта на биговия нож; дълбочината и ширината на биговия канал; нарушаване устойчивостта на връзките между слоевете; структурата и дебелината на картона; влагосъдържание; история и свойствата на материала.

За да се улесни процеса на сгъване, картонените заготовки се биговат преди да бъдат преобразувани в окончателната си форма, т. е. линиите на прегъване се нанасят върху картона с помощта на бигови ножове чрез натиск. При биговането се създава местно срязване, предизвикано от разслояването в структурата на картона, което намалява твърдостта и спомога за лесното сгъване по биговите линии [6]. След биговане картонът има остатъчно разслояване, като степента му зависи от дълбочината на биговите линии и геометрията на биговия нож. Анизотропното поведение на картона се отразява на поведението при сгъване, което зависи от ориентацията на биговите линии по отношение разположението на материала, а също така и дълбочината на биговите линии.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Материали и методи

• Определяне влажността на картона

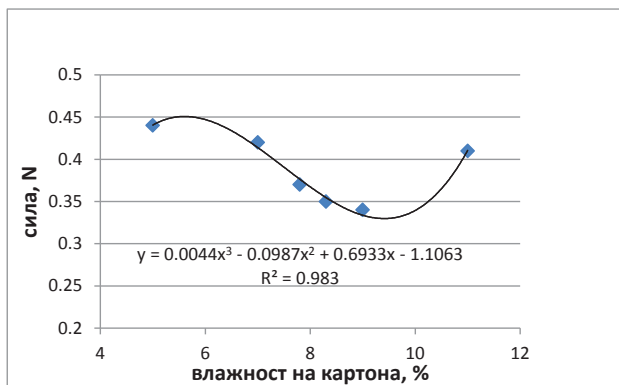
Използван е картон RDM с маса на единица площ 300 g/m^2 и влажност 7%.

Целта на настоящето изпитване е определяне на силата необходима за отваряне на един биг от кутията, с и без предварителна умора на материала в бига, при различна влажност на картона - 5%, 7%, 8%, 9%, 11%.

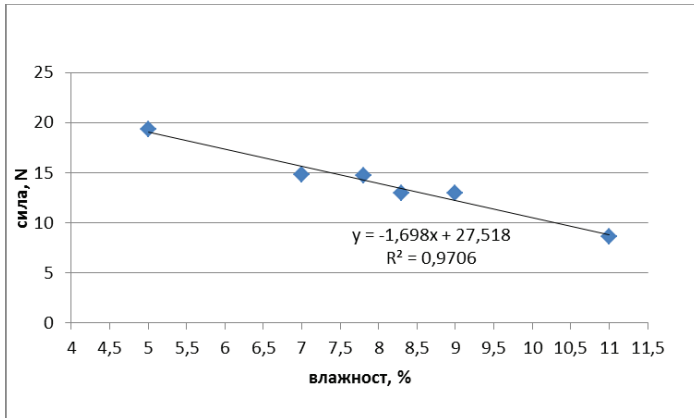
При проведените изпитвания е отчетена силата, необходима за отваряне на един биг от кутията с предварителна умора на материала. На фиг. 2 са представени получените резултати от изпитванията. Изведено е уравнение на зависимостта на полином от трета степен за силата.

При влажност на картона от 7,8 %, 8,3 % и 9 % силата, необходима за отваряне на един биг с предварителна умора в бига, има най-ниски стойности.

На фиг. 3 са представени получените резултати от изпитване на силата на отваряне на един биг от кутията при различна влажност. Изведена е линейна зависимост на силата: $y = -1,698 \cdot x + 27,518$, при коефициент на детерминация $R^2 = 0,9706$.



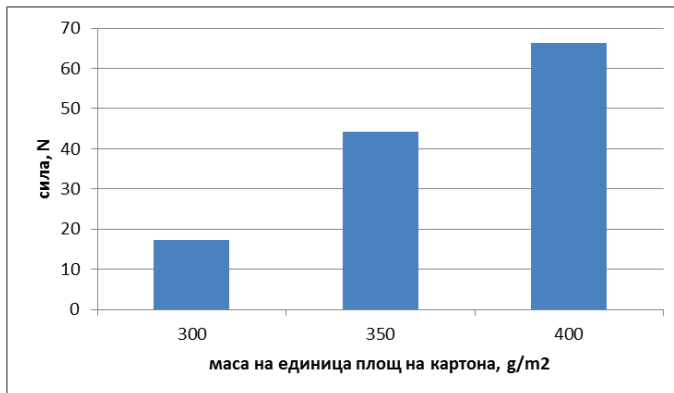
Фиг. 2. Сила за отваряне на един биг на кутията с различна влажност на картона и с предварителна умора на материала



Фиг. 3. Зависимост на силата необходима за отваряне на един биг от картонена кутия при различна влажност

• **Маса на единица площ на картонa**

Използвани са образци от картон RDM с маса на единица площ 300 g/m², 350 g/m², 400 g/m² и влажност 7%. Кутиите са с размери 80 mm x100 mm x55mm. Резултатите от изпитването са представени на фиг. 4.

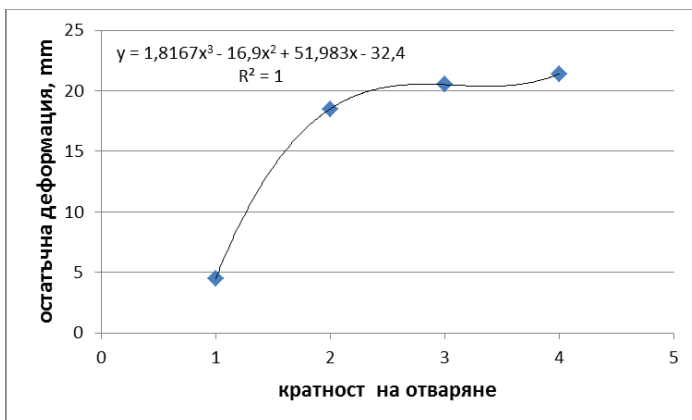


Фиг. 4. Зависимост на силата при отваряне на отделни сегменти на кутията

• **Остатъчни деформации**

При производството на картонени кутии в някои случаи се прави предварително еднократно отваряне на кутията. На фиг. 5 са представени получените резултати от изпитванията. Изведено е уравнение на зависимостта полином от трета степен.

При най-високите нива на деформация, поведението на картонената опаковка става нелинейно. Това е така, защото вътрешното съпротивление по направление ZD е слабо и може да възникне разслояване. Деформацията се появява по време на сгъването на опаковката.

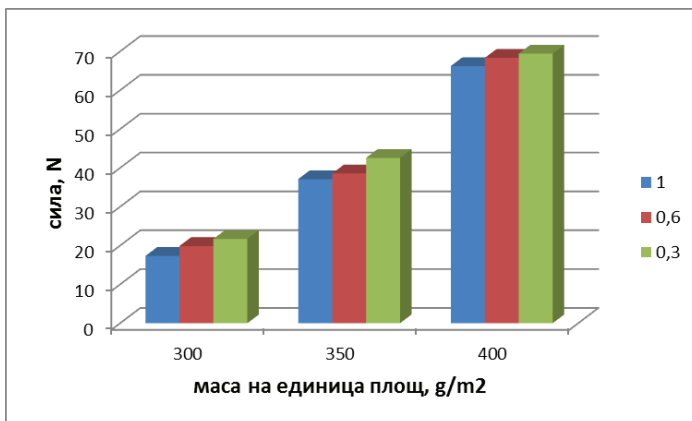


Фиг. 5. Определяне на остатъчната деформация в зависимост от умората на материала

• **Степен на биговане**

Проведени са експерименти с картон 300, 350, 400 g/m² и степен на биговане 1mm; 0,6mm; 0,3mm, при влажност 6,5%.

На фиг. 6 са представени резултатите от изпитване на картонените кутии спрямо степента на биговане.



Фиг. 6. Определяне на силата на отваряне на картонени кутии спрямо степента на биговане и масата на картоната

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

При увеличаване влажността на картоната, силата необходима за отваряне на картонената кутия намалява, защото при по-висока влажност връзката между влакната намалява, което води до понижаване на съпротивителния момент.

На база на получените резултати от проведените измервания може да се отбележи, че силата се увеличава двукратно при сравнение на картони с маса на единица площ 300 g/m² и 350 g/m². На база на получените резултати трябва да бъдат променени настройките на опаковъчната машина, тъй като при

производството на съгъваеми картонени кутии се използва картон с различна масата на единица площ.

При увеличаване масата на единица площ на картона се увеличава и силата необходима за отваряне на картонената кутия, което се дължи на съпротивителния момент в биговите лонии.

С намаляване дълбочината на биговия канал, силата необходима за отваряне на картонената кутия нараства. Това е следствие от увеличаване на съпротивителния момент, което се дължи на нарастване усилието в биговата линия.

Силата необходима за отварянето на картонени кутии е най-малка при картон с маса на единица площ 300 g/m^2 и дълбочина на биговия канал 1 mm. Силата нараства при дълбочина на биговия канал от 0,6 mm и 0,3 mm, тъй като се получава по-голямо усилие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установени са факторите имащи отношение към големината на силата на отваряне на картонената кутия. Разгледано е влиянието на влажността на картона, маса на единица площ на картона, остатъчните деформации и степен на бигване на картона. При влажност на картона от 7,8 %, 8,3 % и 9 % силата, необходима за отваряне на един биг с предварителна умора в бига, има най-ниски стойности.

В резултат на осъществен статистическия анализ са изведени регресионните уравнения за влиянието на разглежданите фактори върху големината на отваряне на картонени кутии.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Bandyopadhyay, A., Ramarao, B.V., Ramaswamy, S., 2002. Transient moisture diffusion through paperboard materials. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 206 (1-3), 455-467.

[2] Barbier, C., Larsson, P.-L., Östlund, S., 2005. On dynamic effects at folding of coated papers. *Composite Structures* 67, 395-402.

[3] Barbier, C., Larsson, P.-L., Östlund, S., 2006. On the effect of high anisotropy at folding of coated papers. *Composite Structures* 27, 330-3348.

[4] Cannella, F., Dai, J.S., 2006. Crease stiffness and panel compliance of carton folds and their integration in modelling. Part C: *Journal of Mechanical Engineering Science* 220 (6), 847-855.

[5] Carlsson, L., De Ruvo, A., Fellers, C., 1983. Bending properties of creased zones of paperboard related to interlaminar defects. *Journal of Materials Science* 18 (5), 1365-1373.

[6] Fukuzawa, Y., Nagasawa, S., Suzuki, S., Katayama, I., Sadamoto, A., 2007. Analysis acoustic emission and sound during the paperboard of cutting process. *Journal of Materials Processing Technology* 193, 134-138.

[7]-65 Giampieri, A., Perego U., Borsari, R., 2011. A constitutive model for the mechanical response of the folding of creased paperboard. *International Journal of Solids and Structures* 48, 2275–2287.

[8] Hallback, N., Girlanda, O., Tryding, J., 2006. Finite element analysis of ink-tack delamination of paperboard. *International Journal of Solids and Structures* 43, 899-912.

[9] Hicks, B.J., Mullineux, C.B., McPherson, C.J., Medland, A.J., 2004. An energy-based approach for modelling the behaviour of packaging material during processing. *Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers Part C. Journal of Mechanical Engineering Science* 218, 105-118.

[10] Kiirkstis, E., Mazyuk, O., 2007. Investigation of mechanical strength of adhesive joints of packages made from flock printing materials. *Mechanika* 5(67), 37-42.

[11] Kibirkstis, E., Mizyuk, O., 2008. Investigation of structure of flock printing materials at package gluing using optical microscopy. *Materials Science (Medziagotyra)* 14 (1), 82-86.

[12] Nagasawa, S., Fukuzawa, Y., Yamaguchi, T., Tsukatani, S., Katayama, I., 2003. Effect of crease depth and crease deviation on folding deformation characteristics of coated paperboard. *Journal of Materials Processing Technology* 140 (1-3), 157-162.

[13] Pawlak, J.J., Keller, D.S., 2005. The compressive response of a stratified fibrous structure. *Journal mechanics of materials* 37, 1132-1142.

[14] Rhim, J.W., 2010. Effect of moisture content on tensile properties of paper – based food packaging materials. *Journal food sci. biotechnol.* 19 (1), 243-247.

За контакти:

проф. д-р инж. Стефан Василев Стефанов, катедра „Машини и апарати за хранително-вкусовата промишленост“, Университет по хранителни технологии, Пловдив, бул. Марица 26, stvstefanov@yahoo.com

гл. ас. д-р инж. Надя Ненчева Арабаджиева, катедра „Машини и апарати за хранително-вкусовата промишленост“, Университет по хранителни технологии, Пловдив, бул. Марица 26, arabadzhieva31@gmail.com

Докладът е рецензиран