

Альтернативний метод визначення опору продавлюванню паперу

Г.К. Ленюк, к.т.н., АТ «Інститут паперу», м. Київ

У даній статті йдеться про визначення опору продавлюванню паперу без використання спеціально для цього приладу, що відповідає певним вимогам ДСТУ ISO 2758:2007 [1].

В основу альтернативного методу визначення опору продавлюванню паперу покладено: зразок паперу, що випробовується, спочатку приймаємо пласкою круглою мембраною завтовшки δ , а після навантаження внутрішнім рівномірно розподіленим тиском q він утворює оболонку у вигляді частини сфери радіуса R . З огляду на осьову симетрію навантаження, що припадає на кульовий сегмент, можна прийняти [2], що напруження розподіляються по товщині оболонки рівномірно, згин оболонки відсутній, та скористатися безмоментною теорією оболонок [3].

За безмоментною теорією, меридіанні σ_m і колові σ_t напруження для сферичної оболонки однакові і дорівнюють [2, 3]:

$$\sigma_m = \sigma_t = \frac{qR}{2\delta} = \sigma, \quad (1)$$

а на продавлених зразках паперу чітко і однаково часто простежуються сліди руйнування розривом як меридіанними, так і коловими напруженнями, але завжди в напрямку найменшої міцності — поперечному до машинного.

Скористаємось розробкою Далена [4], який, зважаючи на осьову симетрію кульового сегмента, запропонував визначити відносне видовження як відносне збільшення робочої поверхні зразка:

$$\varepsilon = \frac{\pi(r^2 + h^2) - \pi r^2}{\pi r^2} = \frac{h^2}{r^2}, \quad (2)$$

де $\pi(r^2 + h^2)$ — відоме значення бокової поверхні кульового сегмента з радіусом основи, тобто зразка, r і висотою h .

Значення радіуса сфери $R = \frac{r^2 + h^2}{2h}$ тепер можна обчислити через відносне видовження ε :

$$R = \frac{r^2 + r^2\varepsilon}{2r\sqrt{\varepsilon}} = \frac{r(1 + \varepsilon)}{2\sqrt{\varepsilon}}. \quad (3)$$

Із співвідношень (1) і (3) отримаємо вирази для визначення значення тиску q :

$$q = \frac{4\delta\sqrt{\varepsilon}}{r(1 + \varepsilon)}\sigma. \quad (4)$$

Здавалося, обчисленню передуватиме випробування паперу на розтягування за ДСТУ 2334-93 [5], звісно, у поперечному до машинного напрямку з отриманням значення напруження σ , за якого спостерігається руйнування, та відносного видовження ε , після чого формулу (4) можна вважати розв'язком у замкненому вигляді, але задача таким чином не розв'язується, а загально відомі методи виявляються безсилими.

Для розв'язання задачі її потрібно розглянути у світлі новітніх уявлень про механізм руйнування матеріалів [6], так чи інакше пов'язаних з іменем Гриффитса. Насправді під час руйнування напруження в місцях руйнування зразка набагато більші, ніж границя міцності σ_B , як це спостерігається, наприклад, у шийці металевого зразка, і ряд дослідників відмовились [6] приймати σ_B константою матеріалу.

Руйнування починається з певного концентратора напружень, навколо якого локальні напруження можуть бути набагато більшими, ніж середні у перерізі зразка [2].

Коли середні напруження досягають певної величини, залежної від розміру концентратора, починається неспинний ріст тріщини, який призводить до руйнування зразка.

Гриффитс розглянув тонку платівку, що рівномірно розтягується в одному напрямку напруженнями p у своїй площині. У платівки є наскрізна тріщина довжиною $2l$, зорієнтована перпенди-

кулярно напрямленню розтягування. Гриффитс знайшов, що тріщина починає зростати, коли напруження p досягає величини:

$$p = \lambda_1 \sqrt{\frac{E\gamma}{\ell}}, \quad (5)$$

де λ_1 — множник порядку одиниці;

E — модуль пружності;

γ — величина необоротної роботи, витраченої на утворення одиниці площі вільної поверхні тіла під час розвитку тріщини; ε сталою матеріалу, що не залежить від напруження, форми і розмірів тіла.

Гриффитс вводить поняття в'язкості руйнування K_{1c} :

$$K_{1c} = \lambda_1 \sqrt{\pi E \gamma},$$

і тоді рівність (5) приймає вигляд:

$$p = \frac{K_{1c}}{\sqrt{\pi \ell}}. \quad (6)$$

Для полімерів і композитних матеріалів [6] в'язкість руйнування дорівнює:

$$K_{1c} = \sqrt{\sigma_s E \Delta},$$

де σ_s — умовна границя плинності $\sigma_{0,2}$, за якої остаточне видовження зразка становить 0,2 %;

Δ — найбільша величина лінійного витягування до розривання надмолекулярного утворення.

Тепер задача розв'язується рівнянням (4), у якому замість напруження σ підставимо напруження Гриффитса (6):

$$q = \frac{4\delta\sqrt{\varepsilon}}{r(1 + \varepsilon)} \sqrt{\frac{\sigma_s E \Delta}{\pi \ell}}. \quad (7)$$

Величини ε , $\sigma_s = \sigma_{0,2}$ і E беруться з діаграм розтягування матеріалу у поперечному до машинного напрямку; найбільша величина лінійного витягування визначається як:

$$\Delta = \frac{1}{2} L \varepsilon,$$

де L і ε — відповідно початкова довжина і відносне видовження зразка під час розривання;



l — половина довжини концентратора напруження як половина потенційної початкової тріщини.

Вибір величини l продемонструємо у наведеному нижче прикладі розрахунку опору продавлюванню паперу для гофрування масою 1 м^2 125 і 112 г за ГОСТ 7377-85.

Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці.

Для визначення величини l були проведені випробування на розтягування за ДСТУ 2334-93 [5] зразків паперу з наскрізними отворами діаметром 1,2; 2,0; 3,0; 4,0 мм посередині зразків, які виявили таке:

- отвори діаметром 1,2 мм ніяк не вплинули на міцність зразків, і руйнувань зразків в місцях розташування отворів не спостерігалось;
- розривне зусилля N_p зразків з отворами 2,0 мм у середньому зменшилось на 0,35 Н, а руйнування в місцях розташування отворів спостерігалось на половині випробовуваних зразків;
- розривне зусилля зразків з отворами 3,0 і 4,0 мм у середньому зменшилось відповідно на 3,05 і 5,10 Н, руйнація на всіх зразках відбулася в місцях розташування отворів.

На основі проведеного аналізу виконаних досліджень напрошується висновок, що руйнування паперу відбувається внаслідок первісної тріщини $2l$ довжиною від 2,0 до 3,0 мм, а ця обставина примушує припустити причинний зв'язок між існуванням такої тріщини і відповідної довжини концентратора напруження у вигляді волокна паперу.

Тому був проведений аналіз волокон паперу на приладах СДВ і КАЖААНІ FS-200, причому виявилось, що СДВ показав однакову середню довжину волокна для паперу 125 і 112 г/м², яка становила 2,15 мм, а КАЖААНІ FS-200 показав середню за масою довжину волокна для паперу 125 г/м² — 1,98 мм і для паперу 112 г/м² — 1,68 мм.

Вивчаючи функції диференційного розподілу за масою волокон, що фіксуються приладом КАЖААНІ FS-200 за виявленнями відхилень від нормального закону, знайшли довжину потенційних концентраторів напружень, або довжину первинних тріщин $2l$:

- для паперу 125 г/м² — 2,3 мм;
- для паперу 112 г/м² — 2,3 і 4,7 мм.

Таблиця.
Вихідні дані для розрахунку опору продавлюванню паперу

Вихідні параметри	Папір масою 1 м ² 125 г	Папір масою 1 м ² 112 г
Товщина паперу δ , мм	0,186	0,178
Довжина зразка L , мм	180,0	180,0
Ширина зразка B , мм	15,0	15,0
Розривне зусилля N_p *, Н	27,0	21,0
Відносне видовження ε , %	1,8	1,9
Границя плинності $\sigma_{0,2}$ кгс/см ²	66,5	52,0
Модуль пружності E , кгс/см ²	10 000	10 000
Опір продавлюванню на приладі 8035 q , кгс/см ²	3,55	2,24
Радіус робочого отвору приладу 8035 або радіус робочої поверхні зразка r , мм	15,25	15,25

* Випробування проводились на розривній машині INSTRON



отраслевой портал
UNIPACK.RU

100.000 посетителей в месяц!!!

БИЗНЕС

Быстрый и удобный поиск партнеров

Каталог предприятий - **7 000** компаний;
Рубрикатор - **1 000** видов упаковки, оборудования и материалов;
Торговая площадка - **5 000** коммерческих объявлений;
Аналитическая база - более **100** маркетинговых обзоров;
Банк вакансий и резюме;
Удобный поиск всех данных по ключевым словам!

ИНФОРМАЦИЯ

владейте всей информацией о рынке

Российские и международные новости;
Интервью и аналитика;
Пресс-релизы ведущих производителей;
Дайджест газет и журналов;
Анонсы выставок и отраслевых мероприятий;
Форум: задай вопрос специалисту!

РЕКЛАМА

расскажите клиентам о себе

Размещение информации в Каталоге предприятий;
Размещение объявлений на Торговой площадке;
Почтовая рассылка - более **17 000** подписчиков;
Баннерная реклама;
Опубликование пресс-релизов;
Организация тендеров;
Проведение промо-акций.

упаковка • этикетка • оборудование
• сырье и материалы •
переработка отходов • логистика



Величина опоры продавлюванню паперу 125 г/м² за формулою (7) становить:

$$\frac{4 \cdot 0,0186 \sqrt{0,018}}{1,525(1+0,018)} \sqrt{\frac{66,5 \cdot 10000 \cdot 18,0 \cdot 0,018 \cdot 2}{\pi \cdot 0,23 \cdot 2}} = 3,51 \text{ кгс/см}^2.$$

Величина опоры продавлюванню паперу 112 г/м² за формулою (7) становить:

$$\frac{4 \cdot 0,0178 \sqrt{0,019}}{1,525(1+0,019)} \sqrt{\frac{52 \cdot 10000 \cdot 18,0 \cdot 0,019 \cdot 2}{\pi \cdot 0,23 \cdot 2}} = 3,14 \text{ кгс/см}^2.$$

• для концентратора 2l = 4,7 мм:

$$\frac{4 \cdot 0,0178 \sqrt{0,019}}{1,525(1+0,019)} \sqrt{\frac{52 \cdot 10000 \cdot 18,0 \cdot 0,019 \cdot 2}{\pi \cdot 0,47 \cdot 2}} = 2,19 \text{ кгс/см}^2.$$

Виводити середнє із двох результатів, звичайно, не можна, оскільки спрацьовує лише один певний концентратор і логічно зупинитись на чисельно меншому результаті.

Введемо поправки на вплив гумової мембрани приладу.

Оскільки стандарт [1] передбачає великі допуски на характеристику мембрани, а саме тиск на утворення стріли прогину 9 мм мембрани без зразка має дорівнювати (30 ± 10) кПа, можна вважати характеристику лінійною з відповідним прогином 9 мм значенням тиску 30,0 кПа, а тоді дійсному за формулою (2) значенню прогину мембрани $h = r\sqrt{\varepsilon}$ буде відповідати додатковий тиск на зразок, що дорівнює:

$$\Delta q = \frac{r\sqrt{\varepsilon}}{0,9} \cdot 30 \cdot \frac{1}{98,1} = \frac{1,525}{0,9} \cdot \frac{30}{98,1} \sqrt{\varepsilon} = 0,52 \sqrt{\varepsilon}.$$

Дійсні значення опоры продавлюванню будуть становити:

$$q_{125} = 3,51 + 0,52 \sqrt{0,018} = 3,51 + 0,07 = 3,58 \text{ кгс/см}^2;$$

$$q_{112} = 2,19 + 0,52 \sqrt{0,019} = 2,26 \text{ кгс/см}^2,$$

що несуттєво, з похибкою приблизно 1 %, відрізняються від показни-

ків опоры продавлюванню, отриманих на приладі 8035 і наведених у таблиці.

Застережемо, що для отримання повного набору потенційних концентраторів напруження слід вдаватися до аналізу диференційного розподілу за масою волокон, що фіксується приладами типу КАЖААНІ FS-200.

Література

1. ДСТУ ISO 2758:2007 Папір. Визначення опоры продавлюванню.
2. Тимошенко С.П. Курс сопроотивлення матеріалів. — М., Л.: Гос. изд., 1930. — 587 с.
3. Феодосьев В.И. Сопроотивление матеріалів. — М.: Наука, 1972. — 544 с.
4. Иванов Н.Д., Зотова-Спановская Н.П. Испытание бумаги // Под ред. проф. Я. Хинчина, с 206 рис. — М.: ГОСЛЕСТЕХИЗДАТ, 1936. — 342 с.
5. ДСТУ 2334-93 (ГОСТ ИСО 1924/1-96) Папір та картон. Визначення міцності під час розтягування. — Частина 1. Метод навантажування з постійною швидкістю.
6. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. — М.: Наука, 1974. — 640 с. ✓

Альтернативный метод определения сопротивления продавливанию бумаги

Г.К. Ленюк, к.т.н.

Автором рассмотрен альтернативный стандартному метод определения сопротивления продавливанию бумаги. В основу метода положено то обстоятельство, что вначале испытуемый образец бумаги принимается плоской круглой мембраной, а после нагрузки равномерно распределенным давлением он образует вмятину в виде части сферы. В статье показано, что при этом отклонения от значений сопротивления продавливанию бумаги в сравнении со стандартными методами составляет 1 %.

Ключевые слова: бумага; сопротивление продавливанию бумаги.

The alternative method to determine a paper bursting strength

G.K. Lenyuk, Ph.D.

The author has considered an alternative to the standard method for determining the bursting strength of paper. The method is based supposed fact that the first test sample of paper made a flat circular membrane, and after the load evenly distributed pressure, it forms a dent in the form of a sphere. The article shows that this deviation from the values of the bursting strength of paper in comparison with standard methods is 1 %.

Key words: paper; bursting strength of paper.