

УДК 655.3

М. И. Кулак, проф., д-р физ.-мат. наук;  
Г. П. Терешко, студентка 5 курса (БГТУ, г. Минск);  
Р. С. Олейник, генеральный директор  
(РУП «Белорусский Дом печати»);  
И. Н. Куропей, начальник ПТЛ  
(ОАО «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа»)

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУМАГИ И ПРОЧНОСТИ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ЛАМИНИРОВАНИИ ОТТИСКОВ**

На качество продукции с припрессованной пленкой влияют режимы припрессовки: сила прижима, температура каландра, скорость припрессовки, а также технологические факторы: толщина, гладкость, объемная масса бумаги, наличие красочного слоя и вид печати [1].

Поставленная в работе задача решалась путем структурного расчета зависимости упрочнения бумаги при ламинировании пленки от указанных режимных и технологических параметров процесса. Коэффициент упрочнения  $K_y$  ламинированного материала определяется по формуле

$$K_y = \left( \frac{\sigma_l - \sigma_{п}}{\sigma_б} - 1 \right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $\sigma_l$  – предел прочности для ламинированного материала, МПа;  $\sigma_{п}$  – предел прочности для пленки, МПа;  $\sigma_б$  – предел прочности для бумажного оттиска, МПа.

Разрушающее усилие ламинированного материала определяется прочностью бумаги, пленки и клеевого соединения

$$\sigma_l = h_{об}\sigma_б + h_{оп}\sigma_{п} + h_{к}\sigma_{к}, \quad (2)$$

где  $h_{об}$ ,  $h_{оп}$ ,  $h_{к}$  – относительные толщины бумаги, пленки и композита (клеявого соединения) соответственно;  $\sigma_{к}$  – прочность композита, МПа.

Для композиционных материалов с дисперсными на-

полнителями и полимерной матрицей развитие математических моделей идет в направлении поиска приемлемых аппроксимирующих выражений для зависимости прочности от степени наполнения. Общими свойствами обладает математическая модель, построенная на основе правила смесей для композиционных материалов, армированных волокнами. Роль матрицы в рассматриваемой задаче играет клей. По объему клеевого слоя распределяются волокна бумаги. Чем глубже клеевой слой вдавливается в поверхностный слой бумаги, тем больше он становится насыщенным волокнами. Когда прочность определяется матрицей, формула для расчета прочности композита имеет следующий вид [2]

$$\sigma_k = \sigma_m \times \left( n_m + n_f \times \frac{E_f}{E_m} \right), \quad (3)$$

где  $\sigma_m$  – прочность матрицы, МПа;  $n_m, n_f$  – объемная доля матрицы и волокон бумаги;  $E_m, E_f$  – модули упругости матрицы и волокон.

Положительной стороной соотношений (3) является то, что при их выводе использовались простые и естественные физические предположения: компоненты несут нагрузку, пропорциональную их жесткости; слой материала в среднем деформируется однородно.

Объем волокон бумаги  $V_f$  в некотором ее слое  $V_p$  зависит от расстояния этого слоя  $R$  до поверхности бумаги. Чем ближе к поверхности бумаги, тем менее она насыщена волокнами.

Объемная доля волокна  $n_f$  находится по формуле

$$n_f = \frac{V_f}{V_p}. \quad (4)$$

Зависимость объема волокон бумаги  $V_f$  от  $R$  выражается формулой [2]

$$V_f(R) = R^D. \quad (5)$$

где  $D$  – фрактальная размерность поверхности бумаги.

Для того чтобы перейти к вычислению усилия прижи-

ма валов ламинатора  $F$ , необходимо найти напряжение  $\sigma_n$ , возникающее в бумаге при ее сжатии. Поэтому следующим шагом в вычислениях было определение модулей упругости  $E$ . В работе [2] построено распределение относительных модулей упругости  $E_0$  в поверхностных слоях для различных видов бумаги.

Абсолютный модуль упругости  $E$  находится по следующей формуле

$$E = E_0 \times E_f, \quad (6)$$

Напряжение находится по следующему выражению

$$\sigma_n = E \times \varepsilon_f, \quad (7)$$

где  $\varepsilon_f$  – деформация слоя бумаги.

Усилие прижима  $F$  в единицах длины вала ламинатора будет зависеть от ширины полосы контакта  $b$  валов

$$F = \sigma_n \times b. \quad (8)$$

График зависимости  $K_y$  от усилия прижима приведен на рисунке. На рис. также приведены результаты расчета коэффициента упрочнения по экспериментальным данным для чистой бумаги Юнион Арт и оттисков на этой бумаге по формуле (1).

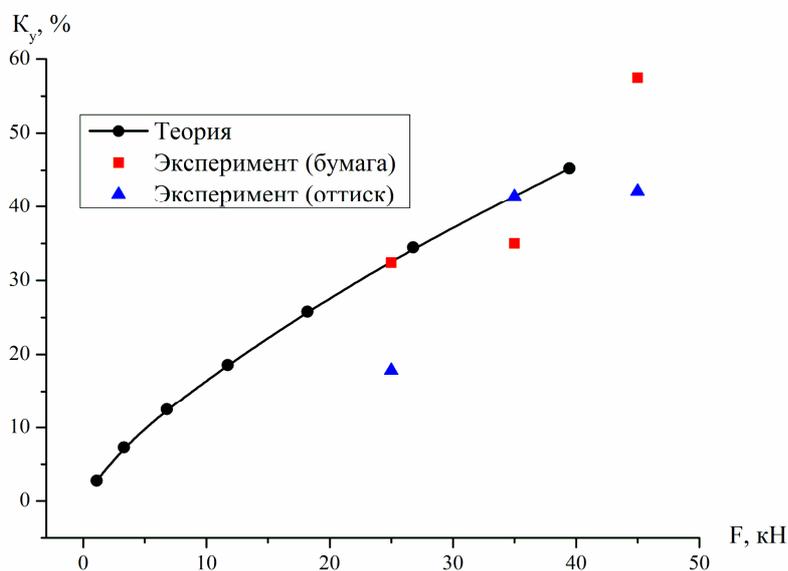


Рис. Зависимость коэффициента упрочнения от усилия прижима при ламинировании

Расчеты  $K_y$  от усилия прижима проводились для следующих данных. Ширина полосы контакта  $b = 10$  мм. Исследовались оттиски на мелованной глянцевой бумаге Юнион Арт толщиной 78 мкм [3], прочностью 28,227 МПа. У данной бумаги по профилограмме поверхности установлена толщина поверхностного слоя  $R = 12$  мкм. Фрактальная размерность структуры поверхности бумаги  $D$  составила 2,485 [3].

Толщина пленки – 20 мкм, ее прочность – 25,801 МПа. Толщина композита составляет 5 мкм. Прочность клея составляет 40 МПа, модуль упругости клея – 80 МПа [4], модуль упругости волокон – 27 000 МПа [5].

В целом, как теоретические расчеты, так и экспериментальные данные указывают на то, что при повышении усилия прижима прочность ламинированного материала возрастает. Таким образом, предлагаемая математическая модель позволяет установить связь структурно-механических характеристик бумаги, пленки, а также клея и прочности клеевого соединения при ламинировании оттисков. Данная модель может быть использована для исследования процесса ламинирования с целью установления оптимальных значений его параметров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев, Д. В. Технология послепечатных процессов / Д. В. Воробьев. – М.: Из-во МГУП, 2000. – 393 с.
2. Кулак, М. И. Фрактальная механика материалов / М. И. Кулак. – Минск.: Выш. шк., 2002. – 304 с.
3. Кулак, М. И. Методы теории фракталов в технологической механике и процессах управления: полиграфические материалы и процессы / М. И. Кулак, С. А. Ничипорович, Д. М. Медяк. – Минск: Белорусская наука, 2007. – 419 с.
4. Кардашов, Д. А. Синтетические клеи / Д. А. Кардашов. – М.: Химия, 1976. – 244 с.
5. Фенгел, Д. Древесина (химия, ультраструктура, реакции) / Д. Фенгел, Г. Вегенер. – М.: Лесная пром-сть, 1988. – 512 с.