

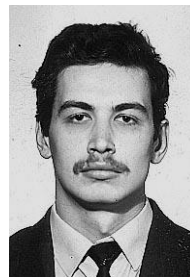
УДК 676.014.44

***Е.А. Челпанова, Д.Г. Чухчин, Я.В. Казаков,
В.И. Комаров, О.М. Соколов***

Челпанова Екатерина Александровна родилась в 1979 г., окончила в 2001 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета. Имеет 4 печатные работы в области целлюлозно-бумажного производства.



Чухчин Дмитрий Германович родился в 1971 г., окончил в 1993 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии Архангельского государственного технического университета. Имеет более 20 печатных работ в области химической переработки древесины.



Соколов Олег Михайлович родился в 1936 г., окончил в 1960 г. Ленинградский технологический институт ЦБП, доктор химических наук, профессор, ректор, заведующий кафедрой биотехнологии Архангельского государственного технического университета, академик Международной академии наук, РИА, РАЕН, Академии проблем качества РФ, чл.-кор. МИА. Имеет более 170 научных трудов в области исследования процессов сульфатной варки, изучения свойств и применения технических лигнинов.



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ КЛЕЕВОГО ШВА ЦЕЛЛЮЛОЗО-БУМАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предложено усовершенствование стандартного метода определения прочности клеевого шва применительно к целлюлозно-бумажным материалам.

Ключевые слова: склеивание, клей, клеевой шов, прочность, адгезия, расслаивание, когезия.

При изготовлении бумаги и картона часто применяют технологическую операцию склеивания. Прочность клеевого шва имеет определяющее значение как при оценке потребительских свойств изделия, так и при определении показателей экономической эффективности продукции.

Образование стабильного клевого соединения целлюлозно-бумажных материалов осложнено неоднородной структурой поверхности листа, которая формируется из волокон с разными морфологическими характеристиками, ориентацией в плане и по толщине листа. Свой вклад вносят нестабильность адгезионной способности волокон различного происхождения, присутствие минеральных наполнителей и проклеивающих веществ.

В адгезионном взаимодействии с молекулами полимерного клея участвуют волокна, часть активной поверхности которых задействована в когезионном взаимодействии с волокнами из внутренней области листа бумаги. Поэтому разрушение клевого шва может происходить по трем вариантам: когезионное разрушение структуры бумаги (расслаивание и выщипывание); когезионное разрушение клея; разрушение адгезионной связи волокна с клеем (рис. 1). Кроме перечисленных факторов, прочность клевого соединения лимитируется прочностью самих целлюлозных волокон и глубиной

Рис. 1. Схематическое представление различных видов разрушения склеенных образцов: *a* – когезионное по материалу, *b* – когезионное по клею, *в* – адгезионное



проникновения клея в структуру бумаги. При оценке качества склеивания следует принимать во внимание как адгезионную способность клея, так и когезионную способность целлюлозного материала. Таким образом, если сам материал не обладает достаточной прочностью в *z*-направлении и его когезионная способность лимитирует прочность клевого соединения, то не имеет смысла повышать адгезионную способность и расход клея.

Исходя из этого, требуется разработать надежный метод оценки качества клея для оптимизации его расхода и клеящей способности, что особенно важно при создании новых видов клея и технологии склеивания целлюлозно-бумажных материалов.

Определение клеящей способности клея производили по ГОСТ 28966.1–91 «Клеи полимерные. Метод определения прочности при расслаивании» [1], в соответствии с которым для испытания берут два образца размером 170 × 15 мм.

На подготовленную поверхность образцов наносят полимерный клей (рис. 2) и соединяют образцы. После сушки их устанавливают в разрывную машину и испытывают в соответствии со схемой (рис. 3).

Существенными недостатками этого метода являются большая продолжительность расчетов и их не-

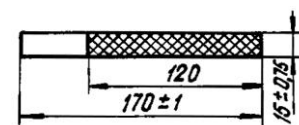
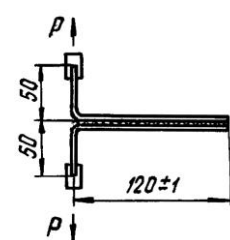


Рис. 2. Образец для испытаний



высокая точность. Немаловажное влияние оказывает человеческий фактор. Необходимо, чтобы все действия по подготовке образцов к испытанию, их склеивание и расчет производил один и тот же человек.

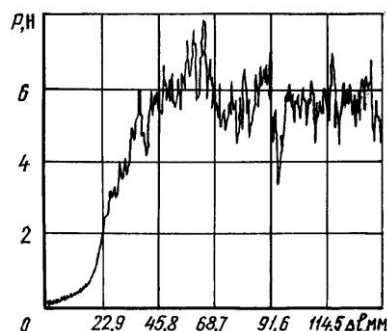
Мы предлагаем модифицировать процедуру изготовления и подготовки к испытаниям на прочность при расслаивании образцов целлюлозно-бумажных материалов. Поскольку исследуемые свойства зависят от влажности, для повышения скорости высыхания клея, моделирования производственных условий склеивания и стандартизации условий сушки предложено склеенные образцы сушить в сушильном шкафу при температуре $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 5 мин. Перед испытанием проводят кондиционирование образцов при относительной влажности воздуха 50 % и температуре $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 4 ч, что соответствует нормам.

Проведенные нами предварительные эксперименты показали, что длина клеевого шва l может быть уменьшена со 120 (по ГОСТ 28966.1–91) до 60 мм, так как уже при такой длине обеспечивается возможность получения необходимых данных для оценки прочности при расслаивании.

Эксперименты проводили на лабораторном испытательном комплексе, включающем разрывную машину ИП 5158-0,5Б, интерфейс RS-232 и ПЭВМ. Скорость передвижения подвижного захвата 100 мм/мин. Снятие

Рис. 3. Схема установки образца в разрывной машине

Рис. 4. Типичная экспериментальная кривая усилие–перемещение при расслаивании с адгезионным механизмом разрушения клеевого шва



показаний производят через каждые 200 мс, получая 900 экспериментальных точек [4].

Результаты испытания выводятся на экран монитора в виде графика изменения усилия расслаивания во времени (рис. 4) для каждого из параллельных образцов. С помощью специально разработанной программы [2] исходные данные и результаты расчетов могут быть распечатаны.

Для расчета прочности при расслаивании с использованием методики [1] требуется определить не менее пяти значений разрушающего усилия 50 % наименьших значений максимумов на кривой зависимости усилие – перемещение подвижного захвата, при этом первое максимальное усилие не учитывают. Нами предложено для расчета прочности при расслаивании использовать интегральную характеристику – работу разрушения, которая имеет более понятный физический смысл:

$$A = \int_0^{\Delta l} P dl, \quad (1)$$

а также удельную прочность адгезионного соединения

$$\dot{I}_{\text{д\text{а}н}} = \frac{A}{S}, \quad (2)$$

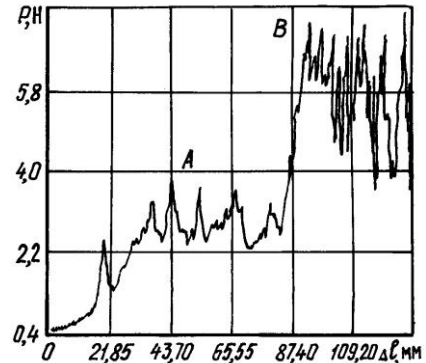
где P – разрушающее усилие;

S – площадь образца, $S = 0,0009 \text{ м}^2$.

Характер кривой на рис. 4 свидетельствует о том, что клеевой шов не является однородным. В ходе испытания нагрузка последовательно прилагается к отдельным участкам шва, и в зависимости от полноты впитывания клея может происходить один из ранее перечисленных видов разрушения шва. При изменении механизма разрушения с адгезионного A (по клею) на когезионный B (расслаивание бумаги) на графике наблюдается скачок (рис. 5).

Вариация свойств приводит к отсутствию точной воспроизводимости результатов для серии образцов одного материала. Поэтому важно проводить параллельные испытания и статистическую обработку полученных данных. За результат испытания принимают среднее арифметическое не менее трех параллельных определений, допускаемое расхождение между которыми не должно превышать 10 %.

Рис. 5. Экспериментальная кривая усилие–перемещение при расслаивании с разрушением клеевого шва по адгезионному (A) и когезионному (B) механизмам



Для сравнительной оценки методов расчета характеристик прочности клеевого шва были проведены испытания на прочность при расслаивании $P_{\text{рас}}$ для серии образцов картона крафт-лайнера и ватмана, склеенных декстриновым клеем (см. таблицу). Расход и концентрация клея одинаковы.

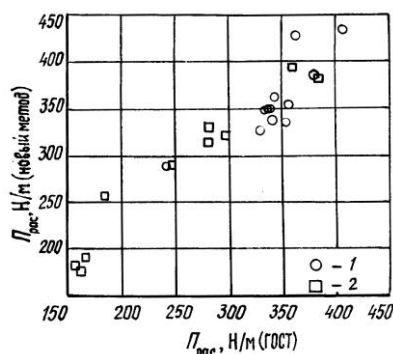
Новый метод расчета дает несколько большие значения характеристики при снижении вариации и размаха значений. Следовательно, точность определения повышается, что подтверждено испытанием различных материалов.

Порядковый номер образца	Прочность при расслаивании образцов, Н/м	
	ватмана	картона
1	343,0 / 361,0	246,0 / 288,0

2	406,0 / 433,0	383,0 / 381,0
3	380,0 / 383,0	297,0 / 321,0
4	337,0 / 347,0	361,0 / 394,0
5	330,0 / 327,0	184,0 / 255,0
6	353,0 / 335,0	281,0 / 313,0
7	334,0 / 347,0	158,0 / 182,0
8	341,0 / 337,0	282,0 / 329,0
9	356,0 / 353,0	161,0 / 175,0
10	336,0 / 348,0	–
11	242,0 / 288,0	–
12	363,0 / 426,0	–
Статистические показатели		
$x_{\text{ср}}$	343,5 / 357,3	252,0 / 282,9
σ_x	38,8 / 40,5	83,1 / 80,1
$v, \%$	11,3 / 11,3	33,0 / 28,3
x_{min}	242,3 / 287,8	157,7 / 175,1
x_{max}	406,3 / 432,7	383,7 / 393,7
Размах	164,0 / 144,9	226,0 / 218,5
Коэффициент корреляции		
	0,84	0,97

Примечание. В числителе приведены данные, полученные по ГОСТу, в знаменателе – предлагаемым методом.

Рис. 6. Корреляция значений $P_{\text{рас}}$ на расслаивание клевого шва, полученных по ГОСТу и предлагаемым методом при использовании крафт-лайнера (1) и ватмана (2)



На рис. 6 наглядно проиллюстрирована корреляция между значениями прочности клевого шва, полученными стандартным и предлагаемым нами методами при использовании разных материалов. Обнаружена высокая теснота связи этих величин, что свидетельствует о достоверности значений, полученных через интегральную зависимость, которая учитывает все влияющие на прочность составляющие.

В связи с тем, что часть результатов измерений лимитировалась когезионной связью между волокнами, важным является установление прочности при расслаивании целлюлозного материала. Для обеспечения сопоставимости таких результатов с тестами на прочность клевого шва требуется проводить испытание на расслаивание в таких же условиях. Поскольку, как правило, склеиванию подвергаются тароупаковочные материалы большой толщины (поэтому они чаще всего многослойные), необходимо оце-

нить возможность применения метода [1] для определения когезионной способности целлюлозного материала.

До настоящего времени не существовало стандартного метода для определения межволоконных сил связи. Применяемые в научных исследованиях методы Иванова [2] и Кларка [3] обладают рядом недостатков, в частности, при проведении испытаний необходимо определять величину поверхности между волокнами в бумаге. Например, при использовании метода определения сил связи по Иванову площадь замеряют при помощи лупы и линейки. На результаты испытания также влияет угол, под которым закреплен образец в разрывной машине и расстояние между зажимами.

По предварительным данным, новый метод дает более надежные результаты, лучше учитывает специфику склеивания бумаги и картона, позволяет количественно оценить равномерность склеивания по длине клеевого шва и определить усилие, при котором происходит когезионное разрушение.

Данный метод можно использовать при разработке новых клеев, оценке их эффективности, оптимизации расхода клея и технологии склеивания. Кроме того, он может быть адаптирован для определения когезионной способности целлюлозных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 28966.1–91 Клеи полимерные. Метод определения прочности при расслаивании. – Введ. 01.01.92. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 11 с.
2. Иванов С.Н. Силы сцепления волокон в бумаге // Бум. пром-сть. – 1948. – № 3. – С. 8–17.
3. Кларк Д. Технология целлюлозы. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 456 с.
4. Свидетельство о регистрации № 2001610526. Программное обеспечение лабораторного испытательного комплекса для оценки деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов (КОМПЛЕКС) / Я.В. Казаков // Реестр программ для ЭВМ. – Принято 10.05.01.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 20.11.02

*E. A. Chelpanova, D.G. Chukhchin, Ya.V. Kazakov,
V.I. Komarov, O.M. Sokolov*

Improving Method for Determining Adhesive Characteristics of Seal of Pulp-and-paper Materials

Improvement of standard method for determining seal strength applied to pulp-and-paper materials has been proposed.
