

О. П. Старченко, к.т.н., ст. преподаватель, И. В. Марченко,
маг-р.т.н., ст. преподаватель, БГТУ, Минск, Беларусь

**ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ СТРУКТУРЫ
ПОВЕРХНОСТЕЙ МАТЕРИАЛОВ
НА КАЧЕСТВО СКЛЕИВАНИЯ
В ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛЕПЕЧАТНЫХ ПРОЦЕССОВ**

**В статье рассматриваются процессы склеивания
при производстве полиграфической продукции.**

**Проанализированы различные теории адгезии
для объяснения явлений, протекающих при склеивании.
Описаны этапы технологии каширования, ее возможные
варианты. Исследовано влияние неоднородности
структуры поверхности бумаги и технологического
параметра скорости процесса каширования
при изготовлении картонной упаковки.**

**Ключевые слова: бумага; картон; клеи; процесс
склеивания; теория адгезии; технология каширования;
неоднородность структуры поверхности; упаковка.**

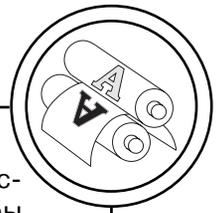
Введение

Переработка оттисков в готовые изделия на многих операциях связана с процессами склеивания печатных и переплетных материалов, которые по своей физико-химической природе и свойствам относятся к двум разным классам веществ — к капиллярно-пористым коллоидным (бумага, картон и др.) и к типичным коллоидным телам (клеи). По этим причинам качество полуфабрикатов и готовой продукции отделочных процессов во многом зависит от режимов проведения технологических операций (температуры материалов, времени воздействия, давления) и технологических факторов — композиции, вида отделки, степени проклей-

ки и влажности волокнистых материалов, химической природы и состава клеев и других показателей [1]. В последние годы наблюдается рост доли этикеточной и упаковочной продукции в общем объеме полиграфической отрасли, где процессы склеивания играют важную роль.

Анализ предыдущих исследований

Склеивание — получение неразъемного соединения материалов при помощи промежуточного слоя — адгезива. По виду конструкции клеевые соединения, применяемые в технологии отделки печатной продукции и в послепечатных процессах, можно разделить на



четыре группы: плоские; Ш-образные; Т-образные; комбинированные [1].

Плоское склеивание применяется во время припрессовки полимерной пленки к оттискам, сборки переплетных крышек, каширования. Это относительно простой тип клеевого соединения, требующий нанесения тонкого и равномерного слоя клея на всю поверхность одной из склеиваемых деталей и приведения ее в плотный контакт с другой деталью. Данный вид клеевого соединения требует минимального расхода клея в расчете на единицу площади склейки. При склейке невпитывающих полимерных пленок с гладкой бумагой прочная склейка обеспечивается при толщине клеевого слоя от 30 до 55 мкм в зависимости от гладкости бумаги. При склейке друг с другом пористых материалов с шероховатой поверхностью (бумаги, картона, переплетных покровных материалов) технологически необходимая толщина клеевого слоя возрастает до 60–90 мкм при механизированной склейке. В то же время плоское склеивание на операциях каширования и сборки переплетных крышек требует значительного расхода клея из-за большой площади склейки [1].

Процесс склеивания основан на двух физических явлениях адгезии и когезии. Для достижения склейки необходимой прочности клей должен обладать как высокой адгезией к склеиваемой поверхности, так и хорошей когезией. Как правило, клей наносят в жидком со-

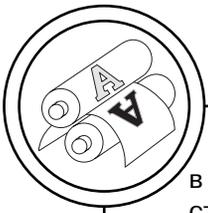
стоянии в виде раствора, дисперсии или расплава. Чтобы соединение приобрело прочность, клей при определенных условиях должен затвердевать и обеспечивать высокую когезию. Субстратом называют материал, который подвергается склеиванию. Существует несколько теорий адгезии.

Механическая теория адгезии возникла, когда склеиванию подвергались в основном пористые материалы типа бумаги, картона, дерева. Процесс склеивания объяснялся как затекание клея в поры и неровности субстрата и его механическое заклинивание с образованием прочного соединения.

Адсорбционная теория адгезии рассматривала образование связи между адгезивом и субстратом как результат действия межмолекулярных сил. Основным положением этой теории является то, что высокая прочность склеивания обеспечивается только в тех случаях, когда клеящие вещества и склеиваемые поверхности обладают полярными функциональными группами.

Электрическая теория адгезии объяснила зависимость величины работы адгезии от скорости расслаивания. Согласно этой теории, адгезия твердых пленок обуславливается электростатическим притяжением зарядов двойного электрического слоя (микроконденсатора), возникающего на границе раздела адгезив–субстрат.

Диффузионная теория адгезии (аутогезия полимеров) — способность двух приведенных



в соприкосновение поверхностей одного и того же вещества давать прочную связь, препятствующую их разделению по месту контакта (происходит взаимная диффузия одинаковых полимеров).

Химическая теория адгезии — между молекулами адгезива и субстрата возможно возникновение таких химических связей, как ионная и ковалентная [1].

Анализируя рассмотренные теории адгезии, можно сказать, что ни одна из них не может в полной мере объяснить все явления, протекающие при склеивании. Это позволяет определить адгезию как сложный комплекс физико-химических явлений между двумя различными материалами, результатом чего является образование соединения с определенными прочностными показателями.

Многообразие склеиваемых материалов и применяемых адгезивов не позволяет создать единую теорию адгезии. Можно предположить, что какая-либо одна или несколько теорий, в зависимости от условий и применяемых материалов, может обеспечить правильный подбор клея для создания прочного соединения. Такие полиграфические материалы как бумага, картон и большинство переплетных материалов, являются полярными полимерами, пористыми материалами, и поэтому для объяснения процессов склеивания наиболее применимы адсорбционная и механическая теории адгезии.

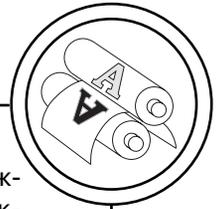
Термин «каширование» произошел от немецкого слова

«kaschieren» — оклеивать, дублировать, ламинировать. Процесс каширования заключается в приклеивании бумаги или тонкого картона с нанесенным на них изображением к более плотной основе [1]. Кашированная упаковка имеет гораздо более привлекательный внешний вид, что положительным образом сказывается на продаваемой в ней продукции.

Технология каширования включает в себя шесть основных этапов: подготовка материалов; закладка основы и лицевого слоя (лайнера) в секции для подачи материалов; совмещение (приладка) слоев; нанесение клеевого состава на основу; прессование; съем готовой продукции. При использовании хороших клеевых составов и оборудования готовая продукция получается однородной, с отличной адгезией покрытия к основе. Иногда перед кашированием лайнер из бумаги подвергается лакировке или ламинации — для защиты изображения от внешних воздействий.

Существует несколько способов проведения технологического процесса каширования с использованием клеев. По типу клеевых композиций различают каширование с помощью клея на растворителях (сольвентный), без растворителей (бес-сольвентный). В свою очередь способ каширования с помощью клеев на растворителях по состоянию клеевого слоя на момент склейки подразделяется на мокрый и сухой.

На отечественном рынке производства упаковочных материалов используются каши-



ровальные машины импортного производства. В технической документации на машины, а также в научно-технической литературе отсутствуют сведения и методики определения оптимальных параметров и технологических режимов для различных исходных слоев склеиваемых материалов и различных типов клеев. На практике эти проблемы решают методом проб и ошибок. Это приводит к возникновению многочисленных видов дефектов. Такие дефекты являются, в большинстве своем, неисправимыми и приводят к повышенным затратам расходных материалов и простоям дорогостоящего оборудования. Чтобы исключить дефекты, необходимо разработать научно-обоснованные рекомендации, связывающие технологические режимы производства материалов с их физико-механическими, эксплуатационными и другими характеристиками.

Цель работы

Исследование влияния неоднородности структуры поверхности бумаги и технологического параметра скорости процесса мокрого каширования в процессе изготовления картонной упаковки.

Результаты проведенных исследований

На качество склейки при кашировании наибольшее влияние оказывает капиллярное впитывание клея. С учетом того, что в качестве лайнера используется бумага с нанесенным на ней изображением, то глубина проникновения клея не должна

превышать полутолщину бумажного листа. Глубина проникновения клея в основу не играет существенной роли на качество готовой продукции.

В процессе изготовления бумаги основное внимание уделяется ее печатно-техническим свойствам, а вопросы склеивания стоят на втором плане и решают их непосредственно на производстве. Для получения прочного скрепления необходимо учитывать свойства бумаги и применяемых клеев.

Бумага — анизотропный материал с неориентированным расположением волокон, состоящий преимущественно из целлюлозных волокон различного типа и наполнителей. В бумажном листе между волокнами и наполнителем имеются заполненные воздухом мельчайшие поры различного размера и формы — система капилляров, которая вместе с гидрофильными целлюлозными волокнами обеспечивает впитывающую способность бумаги.

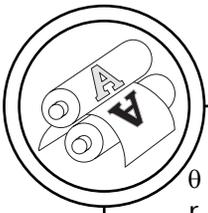
Глубина проникновения клея h связана с длиной капилляров l_k и коэффициентом извилистости капилляров β равенством [2]

$$h = l_k / \beta. \quad (1)$$

Капиллярное впитывание клея, отражающее кинетику проникания жидкости в капилляр, определяется уравнением Уошборна [1]:

$$l_k = \sqrt{\frac{\sigma_{ж} r t \cos \theta}{2 \eta}}, \quad (2)$$

где l_k — длина капилляра; $\sigma_{ж}$ — поверхностное натяжение клея;



θ — краевой угол смачивания;
 r — радиус капилляра; t — время;
 η — вязкость клея.

Коэффициент извилистости капилляров бумаги β определяется как увеличение пути l , проходимого частицами проникающей жидкостью за счет диффузии и случайных блужданий на фрактальных решетках порового пространства бумаги. Диффузионный фронт имеет фрактальную структуру, характеризующую размерностью G . Множество траекторий частиц жидкости образуют гиперкластер с топологической размерностью H . Диффузионный фронт представляет собой пересечение фрактального кластера порового пространства с размерностью D_{Π} и гиперкластера траекторий. В соответствии с представлениями теории фракталов увеличение пути l при случайных блужданиях по кластеру размером R и фрактальной размерностью H составляет [2]

$$l = (R/r_B)^{H/d}. \quad (3)$$

Размер кластера определяется радиусом корреляции кластера [2]

$$R = h\Psi^{-v_k}, \quad (4)$$

где h — толщина листа бумаги;
 v_k — критический индекс радиуса корреляции кластера пор.

Параметр Ψ в формуле (4) определяется следующим образом [2]:

$$\Psi = |(\Pi - \Pi_c) / (1 - \Pi_c)| \quad (5)$$

где Π_c — критическая пористость, т. е. пористость, при которой в поровом пространстве бумаги начинается протекание клея.

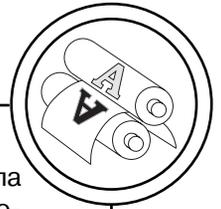
С учетом (4) выражение для l (3) имеет вид [2]:

$$l = (h/r_B)^{\frac{H}{d}} \Psi^{-\frac{v_k H}{d}}. \quad (6)$$

Топологические размерности H , G и D_{Π} связаны между собой зависимостью, определяющей фрактальную размерность подпространства пересече-

Характеристики печатной бумаги

Вид бумаги	Толщина бумаги, мкм	Фрактальная размерность поверхности бумаги, D	Коэффициент извилистости капилляров, β	Радиус капилляра, мкм
Люми Арт, мелованная глянцевая	113	2,064±0,105	1,681	0,02
Юнион Арт, мелованная глянцевая	114	2,504±0,077	1,662	0,02
Люми Силк, мелованная матовая	129	2,563±0,079	1,205	0,02
Юнион Силк, мелованная матовая	138	2,361±0,082	1,367	0,02
Офсетная № 1	84	2,765±0,114	4,678	0,02
Кондопогского ЦБК	81	2,606±0,120	1,335	0,02



чения двух фрактальных пространств [2]

$$G = H + D_{\Pi} - d. \quad (7)$$

Окончательное выражение для коэффициента извилистости порового пространства имеет вид:

$$\beta = \frac{l}{h/r_b} = (h/r_b)^{\frac{H}{d}-1} \Psi^{\frac{v_w H}{d}}. \quad (8)$$

В табл. приведены основные параметры и характеристики бумаги, необходимые для расчета глубины проникновения клея в ее поровое пространство за счет процесса капиллярного впитывания. Расчеты выполнялись для трех видов бумаги: офсетной, мелованной глянцевой и матовой.

На ускорение процесса фильтрации клея в поровом пространстве бумажного листа в процессе каширования наибольшее влияние оказывает скорость процесса. В соответствии с (2) было определено капиллярное впитывание клея, а далее, зная коэффициенты извилистости капилляров каж-

дого вида бумаги (табл.), была рассчитана глубина проникновения клея h . Результаты расчетов представлены в виде графиков зависимости глубины проникновения клея в поровое пространство бумаги от скорости процесса каширования (рис. 1–3).

Расчеты производились для клея ПВАД. Его отличительной особенностью является то, что при использовании ПВАД вязкость выбирается до начала процесса путем разбавления.

Выводы

Применение клеев в современном промышленном производстве достигло высокого уровня. Полиграфическое и упаковочное производства используют широкий ассортимент клеевых композиций, основу которых составляют полимерные материалы. Склеиванию подвергаются различные виды бумаги, картона, полимерных упаковочных пленочных материалов. Многие полиграфические предприятия в силу специфики технологии одновременно осуществляют

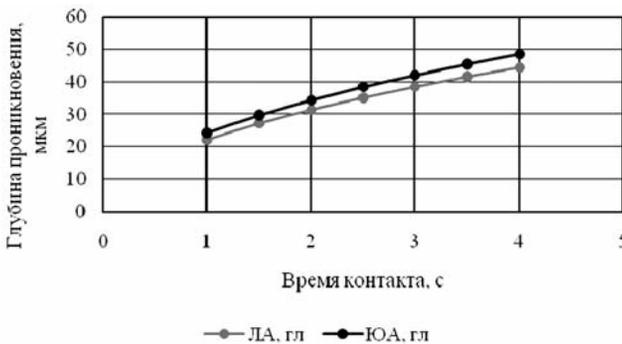


Рис. 1. Глубина проникновения клея в поровое пространство глянцевой бумаги Люми Арт и Юнион Арт от скорости процесса каширования

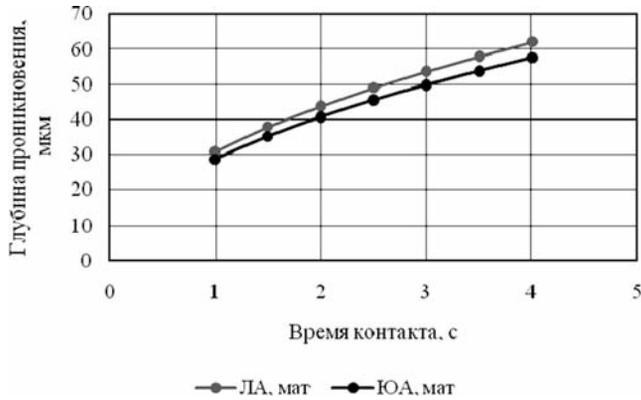
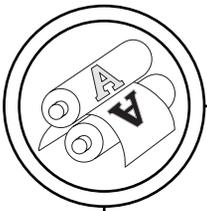


Рис. 2. Глубина проникновения клея в поровое пространство матовой бумаги Люми Арт и Юнион Арт от скорости процесса каширования

и печать, и формирование упаковочных материалов путем склеивания многослойных. Происходит постоянная модификация свойств применяемых клеевых композиций и внедрение новых. Обязательным условием новых композиций становится способность к вторичной переработке и утилизации материалов и изделий. Инженерно-технический персонал дол-

жен ориентироваться в этих процессах, грамотно подбирая материалы и корректируя режимы применения. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации самого процесса их изготовления.

В теории склеивания перво-степенное значение имеет не только изучение физико-химических процессов, но и анализ факторов, влияющих на про-

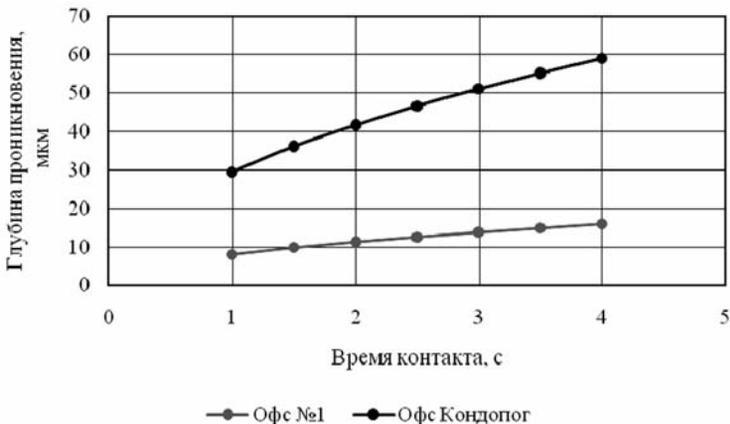
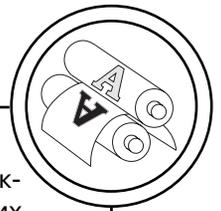


Рис. 3. Глубина проникновения клея в поровое пространство бумаги офсетной № 1 и бумаги офсетной Кондопогского ЦБК от скорости процесса каширования



должительность этого процесса, а также представление о возможностях ускорения процесса и предотвращения появления дефектов.

Методологическая особенность развитого в работе подхода к процессу проникновения клея в структуру бумаги состоит в том, что на основе статистического описания неоднородных случайных структур методами фрактальной геометрии построена теоретическая модель, учитывающая сложность нелинейных

взаимосвязей параметров структуры и физико-механических свойств материалов и клеев. Она целиком базируется на учете флуктуаций плотности, обусловленных фрактальным характером неоднородности структуры, и подчеркивает их определяющую роль в технологических процессах. Эти процессы связаны с капиллярным впитыванием и фильтрацией клея в поровом пространстве бумаги при выходе бумажного листа из зоны склеивания в процессе каширования.

Список использованной литературы

1. Воробьев Д. В. Технология послепечатных процессов / Д. В. Воробьев. — М. : МГУП, 2000. — 394 с.
2. Старченко О. П. Интенсификация капиллярного впитывания печатной краски в мультифрактальном поровом пространстве бумаги / О. П. Старченко // Тр. Белорус. гос. технол. ун-та. — Сер. 9. Издательское дело и полиграфия. — 2011. — № 9(147). — С. 19–22.

References

1. Vorob'ev, D. V. (2000). *Tehnologija poslepechatnyh processov [Technology of finishing processes]*. Moscow: MGUP [in Russian].
2. Starchenko, O. P. (2011). Intensifikacija kapilljarnogo vpityvanija pechatnoj kraski v mul'tifraktal'nom porovom prostranstve bumagi [Intensification of capillary absorption of printing ink in multifractal porous paper space] *Journal of Tr. Belorus. gos. tehnol. un-ta. — Ser. 9. Izdatel'skoe delo i poligrafija — Proceedings of the Belarusian state technological University. Series 9, Publishing and printing*, 9(147), 19–22 [in Russian].

У статті розглядаються процеси склеювання під час виробництва поліграфічної продукції. Проаналізовано різні теорії адгезії для пояснення явищ, що протікають під час склеювання. Описано етапи технології каширування, її можливі варіанти. Досліджено вплив неоднорідності структури поверхні паперу і технологічного параметра швидкості процесу каширування під час виготовлення картонних паковань.

Ключові слова: папір; картон; клеї; процес склеювання; теорія адгезії; технологія каширування; неоднорідність структури поверхні; пакування.



The article discusses the process of gluing during the production of printed products. Various theories of adhesion are analyzed to explain the phenomena occurring during the bonding. The stages of laminating technology and its various options are described. The influence of heterogeneity of surface structure of paper and speed parameter of the laminating process during the manufacturing of cardboard packaging is studied.

Keywords: paper; cardboard; adhesives; bonding process; theory of bonding; laminating technology; heterogeneity of surface structure; packaging.

Рецензент — О. В. Зоренко, к.т.н., доцент,
НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»

Надійшла до редакції 05.07.16