

11
5013
ИЗДАЕТСЯ С ИЮЛЯ 2016

915784

КОЛЕИ. ГЕРМЕТИКИ. ТЕХНОЛОГИИ 1 2016

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Орган Института химической физики им. Н.Н. Семёнова РАН

Рекомендован ВАК для публикации результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук

Редакционная коллегия:

Главный редактор
академик РАН А.А. Берлин

Заместители главного редактора:

А.П. Петрова, д-р техн. наук, проф.,
Г.В. Мальшева, д-р техн. наук, проф.

Члены редколлегии:

Аниховская Л.И., канд. техн. наук	Новаков И.А., академик РАН
Аронович Д.А., канд. хим. наук	Осипчик В.С., д-р техн. наук
Бабаевский П.Г., д-р техн. наук, проф.	Резниченко С.В., д-р техн. наук, проф.
Войтович В.А., канд. техн. наук	Стоянов О.В., д-р техн. наук, проф.
Гладков С.А.	Строганов В.Ф., д-р хим. наук, проф.
Горбаткина Ю.А., д-р физ.-мат. наук	Угрюмов С.А., д-р техн. наук
Ковалевский М.А., канд. эконо. наук	Хайруллин И.К., канд. техн. наук
Кульков А.А., д-р техн. наук, проф.	Чалых А.Е., д-р хим. наук, проф.
Луконин В.П., д-р техн. наук, проф.	Шишин К.В., д-р хим. наук, проф.
Масленков С.Б., д-р техн. наук, проф.	
Минаков В.Т., д-р техн. наук, проф.	
Морозов Ю.Л., д-р техн. наук, проф.	

Ведущий редактор
Еселева Л.И.

Адрес редакции:
105215, Москва, 9-я Парковая ул., д. 60
Тел. редакции: 8 (495) 988-98-67; 8(495) 988-98-65
E-mail: admin@nait.ru; korhimk@nait.ru
http://www.nait.ru

За достоверность информации и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели.
При использовании материалов журнала в любой форме ссылка на журнал обязательна.

© ООО «Наука и Технологии», 2016

С 2007 г. журнал переводится на английский язык и выпускается издательством "Pleiades Publishing, Ltd" как приложение к журналу "Polymer Science, Series D", распространение которого осуществляет издательство "Springer".

СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Бабкин О.Э., Жданова А.В. Влияние олигомеров и мономеров на свойства клея УФ-отверждения для холодного тиснения фольгой . . . 2

Зайцева Е.И., Смирнов Д.Н. Исследование влияния влажности и температуры на технологические свойства полисульфидных герметиков 9

Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г., Чухланова Н.В. Герметизирующая композиция с высокими диэлектрическими характеристиками и повышенной оптической прозрачностью на основе эпоксидиановой смолы, модифицированной фенилэтоксисилоном 13

Шведкова А.К., Петрова А.П., Бузник В.М. Климатическая стойкость композиционных материалов на основе клеевых препрегов в арктических условиях 19

МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ИСПЫТАНИЙ

Ключников И.О., Ключников О.Р., Стоянов О.В. Исследование эластомерного покрытия на основе СКЭПТ холодной вулканизации 25

ТЕХНОЛОГИЯ

Ли Р.И., Киба М.Р. Технология производства металлополимерных подшипников качения 29

ИНФОРМАЦИЯ

Ирзаев Г.Х. Справочно-информационная система выбора технологичных клеевых соединений в приборостроении 34

XI Международная научно-практическая конференция «Новые полимерные композиционные материалы» 39

Новости литературы 44

НОМЕРЕ

РОС НАЦИОНАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА
С-Петербург
03 2016 кт 172

УДК 665.939.5

ВЛИЯНИЕ ОЛИГОМЕРОВ И МОНОМЕРОВ НА СВОЙСТВА КЛЕЯ УФ-ОТВЕРЖДЕНИЯ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ТИСНЕНИЯ ФОЛЬГОЙ

О. Э. Бабкин¹, д-р техн. наук, А. В. Жданова^{1,2}

¹ФГОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения» (191119, г. Санкт-Петербург, ул. Правды, д. 13; e-mail: obabkin@rambler.ru)

²ООО «ХолоГрэйт» (190068, г. Санкт-Петербург, пр-т Римского-Корсакова, д. 45, оф. 401; e-mail: anastacia.zhdanova@gmail.com)

Статья поступила 11.08.2015

Проведены исследования влияния олигомерно-мономерного состава на функциональные свойства УФ-отверждаемого клея для холодного тиснения фольгой на флексографическом оборудовании. Показано, что для холодного тиснения в качестве основы УФ-отверждаемой клеевой композиции в наибольшей степени подходят дифункциональный алифатический уретанакрилат и олигомер, относящийся к аминомодифицированным простым полиэфиракрилатам.

Ключевые слова: холодное тиснение фольгой, фотополимеризующиеся композиции, УФ-отверждаемые клеи, флексография

Метод холодного тиснения является разновидностью флексографической печати и набирает все большую популярность. Такой вид отделки изделий широко используют в оформлении этикеточной, упаковочной, издательской и сувенирной продукции, а также для изготовления голографической упаковки. Холодное тиснение представляет собой процесс нанесения фольги на запечатываемый материал с помощью специального клея, полимеризующегося под действием УФ-излучения. Главное достоинство этой технологии перед другими заключается в возможности нанесения металлизированного покрытия на термочувствительные материалы (ПЭТФ, ПП и т.д.), поскольку для ее реализации не требуется нагрева.

В основном при изготовлении упаковок и этикеток таким методом используют УФ-клеи зарубежного производства. Основными производителями фотополимеризующихся клеев на сегодняшний день являются: *Zeller + Gmelin Corporation* (Германия), *Coatings and Adhesives Corporation* (США), *Ink Systems Inc.* (США), *INX International Ink Co* (США), *Joules Angstrom U.V. Printing Inks* (США), *ACTEGA Kelstar* (США), *Flint Group* (Великобритания),

Paragon (Великобритания), *Jänecke & Schneemann* (Германия) и т.д. Среди перечисленных компаний не представлены российские производители: основную долю рынка занимают США и Германия.

Проведение исследований с целью выявления влияния природы пленкообразующего вещества и функциональности мономеров на клеящую способность позволит создавать отечественные УФ-отверждаемые композиции для процесса холодного тиснения, свойства которых можно варьировать в зависимости от используемых подложек. Научный подход к производственному процессу в значительной мере может сэкономить время и средства. А в условиях импортозамещения сложно переоценить актуальность и привлекательность этой темы для исследований.

Для понимания сути стоит уделить особое внимание некоторым аспектам, а именно процессам, происходящим при изготовлении упаковочной продукции методом холодного тиснения, и материалам, используемым в данной технологии.

Выделяют два способа холодного тиснения — «сухой» и «мокрый».

При «сухом» тиснении первичное отверждение клея осуществляется до припрессовки фольги. Тиснение осуществляется с помощью флексографической машины для холодного тиснения (рис. 1). Используемый УФ-клей с катионным механизмом полимеризации наносят на поверхность запечатываемого материала. Затем происходит активация адгезива ультрафиолетовым излучением, после чего на него наносят фольгу для холодного тиснения. В тех местах поверхности, на которые был нанесен клей, фольгу отделяют от несущего слоя и переносят на запечатываемый материал [1, 2].

При «мокром» тиснении активацию клея производят после припрессовки фольги (рис. 2). При использовании данного оборудования фольгу для холодного тиснения переносят на поверхность запечатываемого материала после нанесения УФ-клея. В сушильном устройстве УФ-излучение проходит через несущий слой фольги и происходит активация адгезионного слоя и его затвердевание. После чего отделяют несущий слой [1, 2]. В данной технологии используют клей с радикальным механизмом полимеризации.

В дальнейшем речь пойдет именно о клеях с радикальным механизмом полимеризации, которые используют в технологии «мокрого» тиснения.

УФ-клей для холодного тиснения фольгой представляет собой фотополимеризующую композицию (ФПК) анаэробного отверждения, в состав которой, как правило, входят олигомер, мономеры, фотоинициаторы и различные функциональные добавки (пеногасители, растекатели, адгезионные добавки и т.д.).

Требования к конечной продукции неуклонно растут, а следовательно, для осуществления качественного тиснения и получения прочной склейки субстратов клеевые композиции должны удовлетворять следующим требованиям:

- иметь высокий показатель смачиваемости, т.е. поверхностное натяжение клея должно быть на 10 мН/м

меньше поверхностной энергии материала, на который он наносится [2];

- иметь оптимальное значение вязкости (не выше 1500 мПа·с), что обеспечит легкое нанесение клея на субстрат;
- время отверждения композиции должно быть достаточным для осуществления тиснения на флексографической машине, оснащенной лампой мощностью 100—200 Вт/см, при скорости тиснения ≈150 м/мин;
- образовывать прочную, а главное, эластичную пленку, не разрушающуюся при дальнейшей эксплуатации изделий.

Основными функциональными свойствами УФ-клеев являются: адгезионная прочность (клеящая способность) и вязкость, от которой, в свою очередь, зависит такой важный параметр, как растекаемость.

В настоящее время нет общепринятой теории, удовлетворительно объясняющей процессы склеивания. Это можно объяснить огромным многообразием склеиваемых материалов и клеящих составов, разнообразием их структуры, сложными физико-химически-

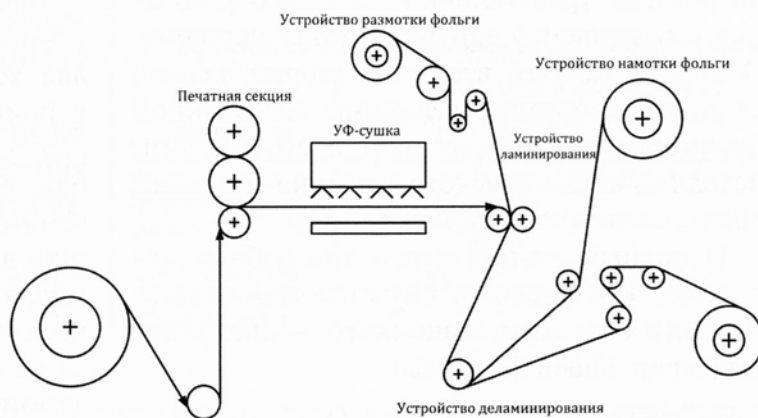


Рис. 1. Технологическая схема машины для «сухого» тиснения [1]

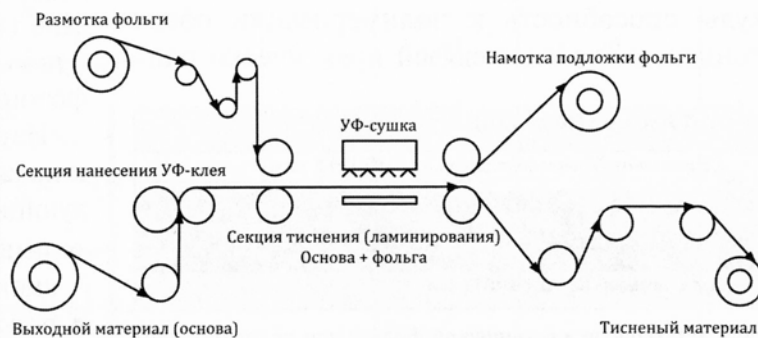


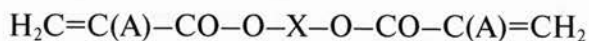
Рис. 2. Технологическая схема машины для «мокрого» тиснения [1]

ми процессами, наблюдаемыми в клеевых соединениях на различных стадиях производства и при эксплуатации. Процессы склеивания обусловлены такими явлениями, как адгезия, когезия и аутогезия веществ. Именно эти процессы играют значимую роль в производстве различных клеящих составов.

Особенность процесса склеивания в технологии холодного тиснения фольги заключается в том, что в нем участвуют совершенно разные по своей природе материалы, такие как ПЭТФ-пленка (обработанная коронным разрядом) и алюминиевая фольга (рис. 3). По полученным данным, поверхностная энергия коронированной ПЭТФ-пленки составила 50 мДж/м², а алюминиевой фольги — 40 мДж/м². Образующийся в процессе отверждения полимерный слой должен, с одной стороны, перенести слой фольги с подложки на свою поверхность, а с другой, — иметь прочную связь с ПЭТФ-пленкой.

В настоящее время известно много теорий адгезии: механическая, адсорбционная, электрическая, диффузионная, электрорелаксационная, — а также некоторые другие теории, по-разному трактующие механизм образования и разрушения адгезионного соединения. Основной задачей всех этих теорий является прогнозирование величины адгезионной прочности между адгезивом и субстратами, исходя из их химического строения и условий образования контакта между ними.

Основным компонентом анаэробных адгезивов, как правило, является дифункциональный олигомер, чаще всего — диакриловый эфир общей формулы:



Вследствие симметричности такой молекулы способность к полимеризации обеих концевых двойных связей практически оди-

ПЭТФ-пленка (10-25 мкм)
Специальный разделительный слой (0,1-0,5 мкм)
Лаковый окрашенный слой (1-3 мкм)
Слой вакуумно-распыленного алюминия (около 0,05 мкм)
Адгезионный (грунтовок) слой

Рис. 3. Строение алюминиевой фольги для холодного тиснения

накова, и поэтому в результате инициирования по радикальному механизму образуются трехмерные структуры, минуя стадию образования линейного полимера. При отверждении диакриловых эфиров в бескислородной системе исключается появление пероксидов, и при одновременном раскрытии двойных связей происходит практически мгновенный переход олигомера в трехмерный полимер. От выбора X- и A-заместителей зависят два важных параметра — скорость отверждения и адгезионная прочность [4].

Изменением химической природы X-заместителя в молекуле олигомера возможно эффективно регулировать физико-механические свойства адгезионного соединения. Например, при введении уретановых групп в состав адгезива можно получать полимеры с повышенными прочностными характеристиками при растяжении и изгибе. Именно эти характеристики важны для адгезива, используемого при изготовлении гибких упаковочных материалов.

Объекты и методы исследования

Для исследования влияния олигомеров и мономеров на клеящую способность ФПК для холодного тиснения были разработаны и приготовлены два ряда образцов. В одном ряду в рецептуре изменяли только природу олигомера (табл. 1). Затем на основании полученных данных был выбран наиболее подходящий для холодного тиснения фольгой олигомер, а именно алифатический уретанакрилат, поскольку он наилучшим образом справился со скотч-тестом и обладает наибольшими адгезионной прочностью и поверхностной энергией. Далее был разработан ряд композиций, в которых изменяли мономерный состав (табл. 2). Общий состав ФПК приведен в табл. 3. В табл. 4 содержатся характеристики фотоинициаторов, используемых в рецептуре.

Изучение полученных УФ-композиций и их клеящей способности проводили по следующим характеристикам:

- динамической вязкости на ротационном вискозиметре Реотест-2 по ГОСТ 1929—87;
- поверхностного натяжения жидких клеев, олигомеров, активных разбавителей мето-

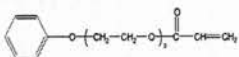
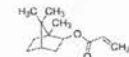
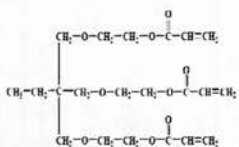
1. Характеристики исходных олигомеров

Химическое соединение	Функциональность, >C=C<	ММ, г/моль	Вязкость, мПа·с	$T_c, ^\circ\text{C}$
Ароматический уретановый акрилат	3	2000	40000	-25
Алифатический уретановый акрилат	3,5		22000	
	3		27000	
	2	1000	13000	32
	2	1000	12000	
Эпоксиакрилат	2	550	1100	
Аминомодифицированный полиэфиракрилат	2,9	480	90	
Сложный полиэфиракрилат	2,6	1100	20000	
Аминомодифицированный простой полиэфиракрилат	4		2500	
Модифицированный диакрилат	2	21	20	

дом отрыва кольца на тензиометре Дю Нуи по ГОСТ 20216—74;

- поверхностной энергии отвержденного клея, ПЭТФ-пленки и фольги для холодного тиснения по краевому углу смачивания [5];
- реакционной способности композиций путем измерения микротвердости отвержденного клея на микротвердометре ПМТ-3 по ГОСТ 9450—76;
- адгезионной прочности методом отрыва на электронном приборе для измерения сцепления *Neurtek KN-10* (ISO 4624:2002, ГОСТ 32299—2013);
- качественной адгезии скотч-тестом [6] по балльной системе:

2. Характеристики исследованных мономеров

Химическое соединение	Формула	$f, \text{>C=C<}$	ММ, г/моль	Вязкость, мПа·с	$T_c, ^\circ\text{C}$
Пропоксилированный диакрилат неопентил гликоля	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}=\text{CH}_2$	2	330	15	
Фенолэтоксилатакрилат (ФЭА)		1	265	20	
Изоборнил акрилат (ИБОА)		1	208	9	88
Дипропиленгликольдиакрилат (ДПГДА)	$\text{H}_2\text{C}=\text{C}(\text{H})-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}=\text{CH}_2$	2	250	10	96
Триметилпропантриакрилат (ТМПТА)		3	430	70	

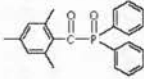
Балл	Количество оставшейся на подложке фольги, %
1	0
2	Менее 10 (небольшое количество)
3	10—30 (умеренное количество)
4	30—60 (большое количество)
5	Более 60 (практически вся фольга)

- спектров исходных композиций и отвержденных пленок с помощью ИК-Фурье-спектрометра Perkin Elmer 1720X.

3. Рецепттура исследованных ФПК

Компонент	Химическое соединение	Содержание, % (мас.)
Пленкообразующее вещество	Олигомеры различной природы	56
Активный разбавитель	Фенолэтоксилатакрилат	16
	Пропоксилированный диакрилат неопентилгликоля	17
Фотоинициаторная система	1-Гидроксициклогексилфенилкетон	8
	2,4,6-Триметилбензоилдифенилфосфиноксид	2
Функциональные добавки	Пенегаситель	0,2
	Растекатель	0,8

4. Характеристики использованных фотоинициаторов

Тип фотоинициатора	Структура	Пики поглощения в УФ- и видимой областях спектра в метаноле, нм
1-Гидроксициклогексилфенилкетон		246; 280; 333
2,4,6-Триметилбензоилдифенилфосфиноксид		295; 368; 380; 393

Результаты и их обсуждение

Полученные результаты по композициям с различными олигомерами в рецептуре сведены в табл. 5. Отдельно на рис. 4 приведены результаты измерений микротвердо-

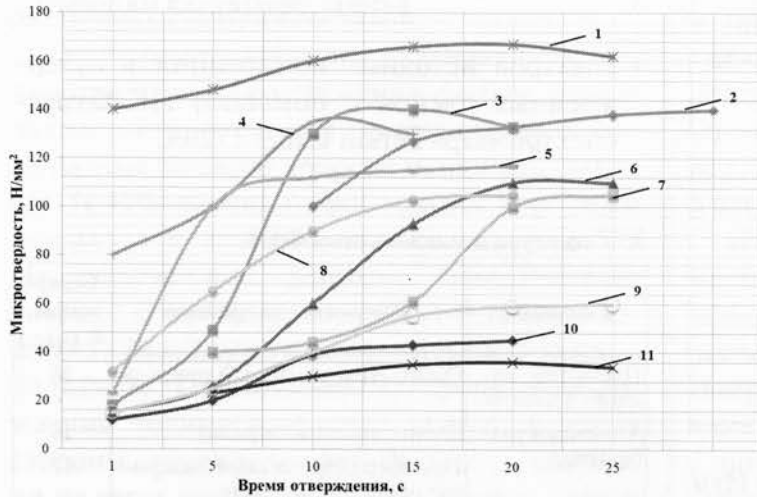


Рис. 4. Графики зависимости микротвердости покрытия от времени отверждения ФПК с различными олигомерами: 1 — эпоксиакрилат; 2 — модифицированный диакрилат; 3 — алифатический уретанакрилат ($f = 3,5$); 4 — сложный полиэфиракрилат; 5 — аминомодифицированный простой полиэфиракрилат; 6 — алифатический уретанакрилат ($f = 3$); 7 — производственный клей; 8 — аминомодифицированный полиэфиракрилат; 9 — алифатический уретанакрилат ($f = 2$); 10 — ароматический уретанакрилат; 11 — алифатический уретанакрилат ($f = 2$)

5. Результаты исследований ФПК с различными олигомерами

Олигомер	Функциональность, $\sum C=C$	Вязкость клея, мПа·с	Поверхностное натяжение жидкого клея, мН/м	Поверхностная энергия отвержденного клея, мДж/м ²	Адгезия по скотч-тесту, балл	Адгезионная прочность к стеклу, МПа
Производственные требования		$\leq 1300-1500$	≈ 40	> 34	> 2	$> 0,9$
Ароматический уретановый акрилат	3	700	23	25		0,6
Алифатический уретановый акрилат	3,5	950	32	34	5	2,2
	3	2200	28	29	5	1,9
	2	1310	23	26		$< 0,3$
	2	950	35	40	4	2,5
Эпоксиакрилат	2	900	25	27	5	3,7
Аминомодифицированный полиэфиракрилат	2,9	85	22	29		0,4
Сложный полиэфиракрилат	2,6	910	24	26		0,3
Аминомодифицированный простой полиэфиракрилат	4	420	22	32	4	1,6
Модифицированный диакрилат	2	40	22	27		1

сти покрытий на основе олигомеров различной природы. При исследовании полученных ФПК определяли те характеристики, которыми должен обладать УФ-клей в соответствии с требованиями производственного процесса.

По результатам исследований можно сказать, что лучшие показатели по реакционной способности получены для сложного полиэфиракрилата и аминомодифицированного простого полиэфиракрилата — ≈ 10 с. Также высокие значения реакционной способности наблюдаются у ароматического уретанового акрилата — ≈ 13 с, что соответствует производственным требованиям (не более ≈ 20 с).

По остальным параметрам наиболее близкими значениями к производственным требованиям обладают алифатический уретановый акрилат (функциональность = 2; $\eta = 950$ мПа·с) и аминомодифицированный простой полиэфиракрилат (функциональность = 4; $\eta = 420$ мПа·с). Композиции именно с этими олигомерами в составе также

неплохо справились со скотч-тестом: 4 балла по оценочной шкале.

Наилучшие показатели по скотч-тесту продемонстрировал эпоксиакрилат. У данного олигомера хорошая адгезионная прочность к испытуемым материалам, но в чистом виде использовать его для производства упаковочной продукции не рекомендуется, поскольку он образует жесткий полимер, который в процессе эксплуатации упаковки может потрескаться.

Также были проведены исследования клеев с различным мономерным составом. Основные результаты этих испытаний продемонстрированы на гистограмме (рис. 5): с увеличением функциональности мономера уменьшается время отверждения состава, но при этом возра-

стает вязкость исходной композиции. На поверхностное натяжение изменение мономера влияние не оказало.

Помимо этих испытаний было проведено спектральное исследование исходных составов и отвержденных пленок.

Образцы, в которых изменяли только мономер, имеют сходные спектры (рис. 6). Образцы на основе алифатического уретанакрилата и полиэфиракрилата имеют сходную структуру спектров, отличающихся наличием или отсутствием тех или иных полос в соответствии с изменением олигомерного состава.

Характерной особенностью спектров всех исследованных исходных составов является наличие двух полос в области 1640 и 1620 см^{-1} , которые по своему положению могут быть отнесены к валентным колебаниям двойной связи $\text{C}=\text{C}$. В отвержденных пленках эти полосы полностью исчезают. Таким образом, на основании полного исчезновения колебаний двойных $\text{C}=\text{C}$ -связей можно сделать вывод, что при фотоионизации отверждение идет по двойным связям и во всех исследованных случаях проходит полностью.

Аналогичный вывод можно сделать на основании рассмотрения валентных колебаний $\text{C}=\text{N}$ при двойных $\text{C}=\text{C}$ -связях, но в этой области рассмотрение осложняется присутствием ароматических колебаний отдельных компонентов, что видно на спектре в области 3020 см^{-1} , которая соответствует колебаниям $\text{C}=\text{N}$ -связей (рис. 7) [8].

Выводы

В результате исследования установлено, что наибольшей адгезионной прочностью в процессе холодного тиснения обладают алифатический полиуретановый диакрилат и дифункциональный эпоксиакрилат.

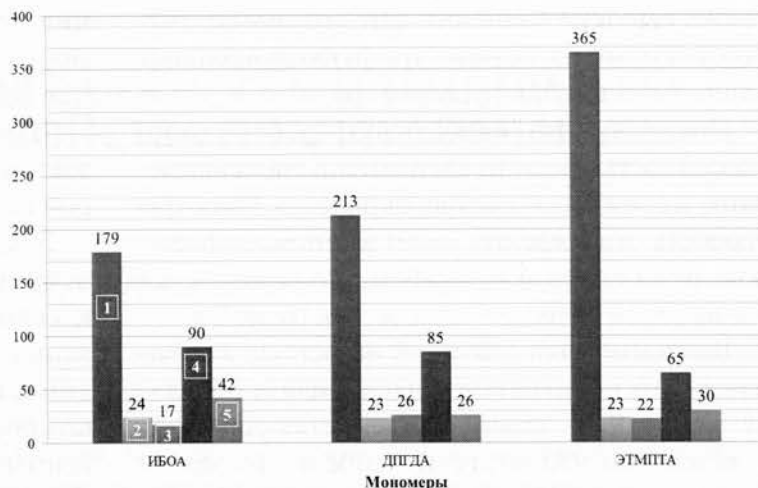


Рис. 5. Характеристики ФПК в зависимости от функциональности мономера: 1 — вязкость, мПа·с; 2 — поверхностное натяжение, мН/м; 3 — микротвердость, Н/мм²; 4 — время отверждения, с; 5 — поверхностная энергия, мДж/м²

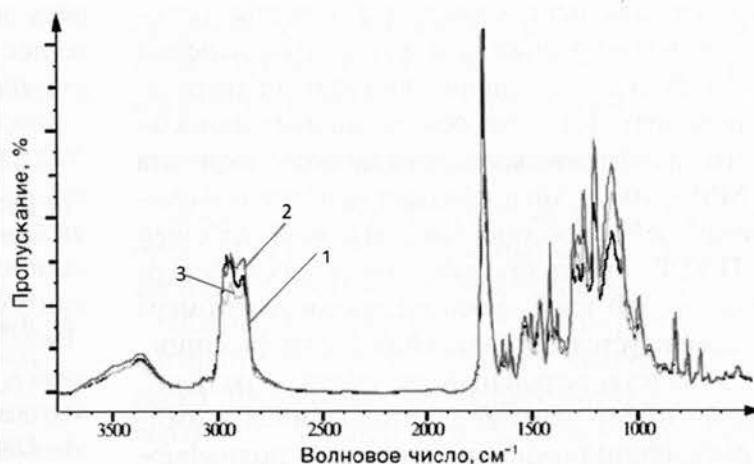


Рис. 6. ИК-спектры композиции с различными мономерами: 1 — ФЭА/ИБОВА; 2 — ФЭА/ТМПА; 3 — ФЭА/ДПГДА. Соотношение мономеров равно 1:1

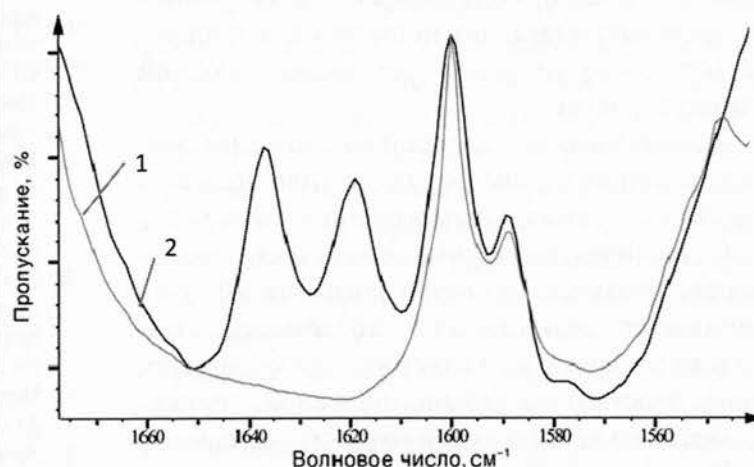


Рис. 7. Спектры исходного образца ФЭА/ИБОВА (1) и отвержденной пленки (2) в области валентных колебаний связи $\text{C}=\text{N}$

Также высокие значения адгезии имеют УФ-композиции на основе трифункциональных алифатических полиуретанакрилатов.

Показано, что наибольшую реакционную способность имеют представители эпоксиакрилатов и сложных полиэфиракрилатов. Высокую скорость отверждения имеет аминомодифицированный простой полиэфир, что объясняется его высокой функциональностью, равной 4.

Выявлено, что УФ-клей на основе алифатического полиуретанового акрилата обладает наилучшей смачивающей способностью с вязкостью 950 мПа·с и наибольшим среди исследуемых композиций поверхностным натяжением (35 мН/м), близким к значению поверхностного натяжения клея, используемого в производстве (39 мН/м).

В процессе исследования было установлено, что для использования в качестве основы УФ-композиций для холодного тиснения в наибольшей степени подходят полиуретанакрилаты. Клей на основе дифункционального алифатического уретанового акрилата с $M_n = 1000$ г/моль обладает наибольшей смачивающей способностью, высокой адгезией к ПЭТФ-пленке при высокой скорости отверждения. УФ-клей на основе данного олигомера рекомендуется для дальнейшей модификации.

Удовлетворительный результат в эксперименте имеет олигомер, относящийся к аминомодифицированным простым полиэфиракрилатам. Полученные значения поверхностного натяжения (22 мН/м) и адгезионной прочности (1,6 МПа) данного олигомера уступают значениям, полученным для выбранного уретанакрилата, но испытания в процессе холодного тиснения показывают схожий с ним результат.

Использование в клеевой композиции смеси различных мономеров позволило получить системы с оптимальным значением вязкости.

С увеличением функциональности мономеров, входящих в состав композиций, увеличивается реакционная способность клея, но в то же время при отверждении образуется менее эластичный адгезионный слой, что сказывается на качестве упаковочного материала.

Все разработанные композиции имеют близкое значение поверхностного натяже-

ния, что позволяет сделать вывод о том, что мономеры в меньшей мере оказывают влияние на данный параметр.

Наибольшей поверхностной энергией обладает отвержденная композиция, в состав которой входят монофункциональные мономеры.

Заключительным этапом работы было проведение испытаний фотополимеризующихся клеевых композиций. На основании тестирования УФ-клея был сделан вывод о необходимости совершенствования разработанных композиций. Для конкретных производственных целей стоит использовать более сложную рецептуру композиции, в которую возможно будут входить помимо основного еще один-два олигомера. Например, для увеличения адгезионной прочности между алюминиевой фольгой и ПЭТФ-пленкой можно добавить до 5% (мас.) эпоксиакрилата, при этом не пострадает качество упаковочного материала: он останется эластичным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бобров В.И.** Теоретические основы структурного анализа и синтеза автоматизированных систем машин полиграфического производства: Дисс. д-ра техн. наук. Москва, 1999.
2. **Лукин Ю.** Обработка поверхности материалов коронным разрядом // ФлексоПлюс. 2002. № 3 (27). URL: <http://www.flexoplus.ru/archive/27/16.html> (дата обращения: 01.07.2015).
3. **Гудилин Д.** Тиснение фольгой // КомпьюАрт. 2006. № 1. URL: <http://www.compuart.ru/article.aspx?id=15329&iid=728> (дата обращения: 01.07.2015).
4. **Бабкин О.Э., Бабкина Л.А., Жданова А.В., Круглякова О.В.** УФ-полимеризующиеся композиции для холодного тиснения фольги // Тез. докл. Всеросс. науч.-техн. конф. с участием молодых ученых «Инновационные материалы и технологии в дизайне». СПб.: СПбГИКиТ, 2015. С. 59–60.
5. **Притыкин Л.М., Карлашов Д.А., Вакула В.Л.** Мономерные клеи. М.: Химия, 1988. 176 с.
6. **Бабкин О.Э., Жданова А.В.** Фотополимеризующиеся композиции для изготовления рельефно-фазовых дифракционных оптических элементов // Дизайн. Материалы. Технология. 2014. Вып. 35. № 5. С. 87–90.
7. **Маркова И., Титов А.** Входной контроль самоклеящихся этикеток // ФлексоПлюс. 2006. № 4. URL: http://www.kursiv.ru/kursivnew/flexoplus_magazine/archive/52/44.php (дата обращения: 01.07.2015).
8. **Гордон А., Форд Р.** Спутник химика: Пер. с англ. М.: Мир, 1976. 541 с.
9. **Аронович Д.А., Синеокова О.А., Заитова Н.В. и др.** УФ-отверждаемые анаэробные клеевые композиции // Клеи. Герметики. Технологии. 2014. № 5. С. 5–9.