влажностью и связанный с этим рост нагрузки на систему осушки газа по жидкости и, соответственно энергетических затрат на регенерацию абсорбента. Однако, данный «недостаток» в полной мере компенсируется экономией топливно-энергетических ресурсов на регенерацию метанола.

4. Полученный опыт эксплуатации сепарационного оборудования и проведенные гидравлические и технико-экономические расчеты показывают эффективность и экономическую целесообразность поддержания температурного режима работы газосборной сети «низкого» давления в области положительных температур, что в условиях низких давлений позволит предотвратить осложнения, связанные с процессом образования гидратов, и обеспечит надежную работу систем промышленной подготовки газа.

1. Общесоюзные нормы технологического проектирования на магистральные трубопроводы. Часть 1. Газопроводы. ОНТП 51-1-85. - М.: ВНИИЭгазпром, 1985. - 220 с.
2. Бабин Л.А., Спектор Ю.И., Рафиков С.К. «Сооружение магистральных трубопроводов. Охрана окружающей среды»: Учебное пособие. Уфа: Изд-во УНИ, 1993.
3. Синайский Э.Г., Лапица Е.Я., Зайцев Ю.В. «Сепарация многофазных многокомпонентных систем». М.: ООО «Недра – Бизнес центр», 2002. – 621 с.; ил.

Здрок А.Е., Труфанова А.С.

**Исследование адгезионных свойств токопроводящих пленок, изготовленных
методом плоттерной печати**

*ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»
(Россия, Томск)*

doi:10.18411/lj-11-2018-144

idsp: ljjournal-11-2018-144

Аннотация

В данной работе представлены основные результаты исследования влияния температурного режима спекания токопроводящих пленок, изготовленных методом плоттерной печати, на значение адгезионной прочности. Приведено описание экспериментальной установки и методики исследования.

Ключевые слова: принтерная печать, плоттер, токопроводящие пленки, адгезионные свойства, СВЧ-электроника.

Abstract

This paper presents the main results of the study of the influence of the temperature regime of sintering of conductive films made by the plotter printing method on the value of adhesive strength. The description of the experimental setup and research methods are given.

Keywords: ink-jet printing, plotter, conductive films, adhesive properties, microwave electronics.

Введение

Принтерные технологии уже находят применение в различных областях электронной промышленности: от производства органических солнечных батарей до изготовления разнообразных пассивных и активных СВЧ-структур. Однако изготовление специальных токопроводящих или диэлектрических пленок и покрытий методом печати сталкивается с рядом задач, оказывающих влияние на качество выпускаемых изделий. Одной из таких задач является обеспечение оптимальной адгезии или, другими словами, взаимосвязи между пленкой и основанием, на которое осуществляется печать материала.

Процесс формирования пленок методом плоттерной печати [1] относится к физическому типу взаимодействия между твердым телом и жидкостью. Адгезия возникает в результате молекулярных сил взаимодействия. К основным параметрам, характеризующим адгезионную прочность, относят:

- когезионные свойства соединяемых материалов;
- поверхностное натяжение;
- краевой угол смачивания;
- температуру спекания и время выдержки.

Так сильная связь между одинаковыми молекулами внутри тела в пределах одной фазы является барьером для обеспечения высокой адгезии. Высокое поверхностное натяжение жидкого материала и большой краевой угол смачивания также приводят к снижению значения адгезионной прочности. Решение данных проблем возможно путем химического воздействия: изменение химического состава или концентрации веществ.

В рамках данной работы проводились исследования температурного воздействия на систему «пленка-подложка». В частности были рассмотрены режимы спекания пленок, так как от температурного режима зависят как проводящие свойства материалов, так и адгезионная прочность. Теоретические исследования показали неоднозначность влияния температуры на силы молекулярного взаимодействия. Таким образом, основной целью данной работы стало исследование зависимости адгезионных свойств токопроводящих пленок, нанесенных методом плоттерной печати, от режимов спекания.

Способ измерения адгезионной прочности

Прямым и наиболее точным способом оценки адгезионной прочности является метод отрыва пленки. То есть измерение приложенной силы или совершенной работы, необходимой для нарушения адгезионного взаимодействия между пленкой и подложкой.

Методы измерения адгезионной прочности путем отрыва пленок классифицируют по двум признакам: направление внешнего воздействия на контакт пленка-подложка и условия нарушения адгезионного контакта. По направлению внешнего воздействия на контакт пленка-подложка различают отрыв:

- нормальный: нарушение связи между пленкой и подложкой по всей площади контакта происходит при приложении внешней силы, действующей в прямом направлении [2];
- тангенциальный: в процессе измерения адгезионной прочности тангенциальная сила может прикладываться к поверхности пленки, вызывая сдвиг, кручение или срез [3].

Исходя из условий нарушения адгезионного контакта, выделяют виды отрыва:

- одновременный: происходит нарушение всей границы раздела между пленкой и исходной поверхностью;
- последовательный: происходит отслаивание пленки или ее расщепление.

Согласно классификации наиболее подходящим по реализации и результатам измерений является метод одновременного нормального отрыва. Данный метод используется для определения адгезионной прочности небольших по площади поверхностей. Сила отрыва прикладывается непосредственно к поверхности пленки и распределяется на всю площадь контакта пленки с подложкой, разрушающее напряжение измеряется в Па.

Основные требования для оценки адгезии пленок методом одновременного нормального отрыва:

- соответствие размеров и формы площади поверхности отрываемой пленки и источника прикладываемой силы;
- малая и равномерная скорость нарастания разрушающего усилия;
- перпендикулярное направление силы отрыва по отношению к поверхности подложки.

Описание экспериментальной установки

Для проведения экспериментальных исследований использовался испытательный механический стенд МЕГЕОН-03000D. Стенд обеспечивает жесткость соединения с пленкой, строго центрированное приложение нагрузки к испытуемому образцу, равномерность распределения напряжений по адгезионному шву, плавность увеличения нагрузки и равномерность скорости нарастания разрушающего усилия.

Измерение силы отрыва пленки от подложки осуществлялось динамометром МЕГЕОН-03500. Разрушающее напряжение рассчитывалось по формуле:

$$\sigma_{\text{отр}} = F/S \quad (1),$$

где F – сила отрыва пленки от подложки, Н;

S – площадь образца пленки, мм².

Для создания соединения между пленкой и динамометром использовался винт. С динамометром винт соединялся посредством жесткого резьбового соединения, к пленке винт припаивался посредством паяльной пасты при температуре 250 °С в камерной электрической печи «ПМ-1700п».

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

1) подложка; 2) токопроводящая пленка; 3) паяльная паста; 4) винт; 5) фиксатор резьбовой;
6) резьбовое соединение

Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Экспериментальные образцы представляли собой электропроводящие пленки толщиной 60 мкм. Материал подложек – ВК-96, материал пленок – токопроводящая паста ПП-17С [4], используемая для изготовления СВЧ-элементов. Технология изготовления пленок – плоттерная печать, с помощью устройства, разработанного коллективом СКБ «Смена», ТУСУР [5].

Спекание пленок осуществлялось в камерной электрической печи. Выбор температурного режима для спекания пленок основывался на ТУ 6365-010-59839838-2005 [4]. Так были выбраны три значения температуры: минимальное, максимальное и промежуточное. Следует отметить, что во время экспериментальных исследований было отмечено, что при температуре больше 770 °С однородность структуры и границ пленок нарушается (рис. 2).

Рис. 2. Разрушение пленки при температуре спекания выше 770 °С

Методика экспериментальных исследований

Методика экспериментальных исследований включает в себя следующие этапы:

- 1) подготовка подложек для печати (отмывка, сушка, обработка и т.д.);
- 2) изготовление экспериментальных образцов (9 подложек по 10 пленок размером 5х5 мм);
- 3) спекание экспериментальных образцов при трех разных режимах (для каждого режима по три подложки):
 - а) время нагрева – 15 мин, время выдержки – 10 мин, при температуре 550 °С, охлаждение до температуры 30 °С;
 - б) время нагрева – 15 мин, время выдержки – 10 мин, при температуре 650 °С, охлаждение до температуры 30 °С;
 - в) время нагрева – 15 мин, время выдержки – 10 мин, при температуре 750 °С, охлаждение до температуры 30 °С;
- 4) измерение геометрии и структуры готовых пленок на профилометре MicroXAM-100;
- 5) измерение адгезионной прочности пленок:
 - а) пайка крепежного элемента к напечатанной пленке;
 - б) крепление подложки к стенду;
 - в) соединение винта с динамометром;
 - г) создание критического момента напряжения (момента отрыва пленки);
 - д) фиксирование результатов;
 - е) статистическая обработка полученных результатов измерений и их оценка.

Результаты экспериментальных исследований

По результатам измерений было получено 90 значений (для каждого режима отжига пленок 30 значений) и рассчитано среднее значение силы отрыва и разрушающего напряжения для каждого из режимов спекания соответственно:

а) $F_1 = 17,78 \text{ Н}$, $\sigma_{\text{отр}1} = 0,71 \text{ МПа}$;

б) $F_2 = 28,69 \text{ Н}$, $\sigma_{\text{отр}2} = 1,15 \text{ МПа}$

в) $F_2 = 46,29 \text{ Н}$, $\sigma_{\text{отр}3} = 1,85 \text{ МПа}$.

Погрешность результатов измерения не превысила 0,27 кПа.

Заключение

В рамках данной работы были изготовлены экспериментальные образцы пленок методом плоттерной печати шприцевого дозирования серебряных токопроводящих паст, и произведена экспериментальная оценка адгезионной прочности пленок.

В результате экспериментальных исследований было установлено следующее:

- 1) с уменьшением температуры спекания пленок уменьшается их адгезионная прочность;
- 2) превышение критического значения температуры (более 770°С) спекания разрушает целостность структуры пленки;
- 3) температура спекания не менее 700 °С является оптимальной для обеспечения высокой адгезии пленок.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00664мол_а.

1. Развитие аддитивной принтерной технологии в электронике: технологии получения тонких пленок органических полупроводников, металлических проводников, диэлектриков и образовательные ресурсы на их основе / Туев В.И., Малютин Н. Д., Копылова Т.Н., Якиманский А.В., Лощилов А.Г., Артищев С.А., Здрок А.Е., Аллануров А.М., Бомбизов А.А., Лазько М.А., Караульных С.П., Макаров И.М., Убайчин А.В., Малютин А.Н., Дегтяренко К.М., Гадиров Р.М., Тельминов Е.Н., Солодова Т.А., Никонов С.Ю., Никонова Е.Н. / 25-я Международная Крымская конференция СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. Материалы конференции, 6—12 сентября 2015 г. Севастополь, Крым, Россия. – С. 679 – 682.
2. Разрушающие методы определения адгезионной прочности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://poznayka.org/s94125t1.html> (дата обращения: 3.04.2018).
3. Методы, основанные на приложении тангенциальной силы отрыва [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://scibook.net/priborostroenie_1271/metodyi-osnovannyye-prilojenii-tangentsialnoy-43452.html (дата обращения: 3.04.2018).
4. ТУ 6365-010-59839838-2005 Пасты полимерные для гибких подложек. Технические условия. – М.: ООО «НПП ДЕЛЬТА-ПАСТЫ», 2005. – 15 с.
5. Разработка печатающей головки для устройства аддитивного изготовления печатных плат / Д. В. Шерстюк, А. М. Умаров, А. Е. Здрок // Материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Научная сессия ТУСУР-2016), г. Томск, 2016 г. – Ч. 2. – С. 85-87.

Зырянов М.А., Сыромятников С.В.

**Совершенствование системы комплексной переработки древесины
на стадии лесозаготовки**

*Лесосибирский филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и
технологии имени академика М.Ф. Решетнева»
(Россия, Лесосибирск)*

doi:10.18411/lj-11-2018-145

idsp: ljjournal-11-2018-145

Аннотация

Разработаны мероприятия направленные на совершенствование системы комплексной переработки древесины на стадии лесозаготовки путем внедрения роторно-ножевой мельницы, позволяющей получать древесноволокнистый полуфабрикат из отходов лесозаготовок.

Ключевые слова: размол, древесноволокнистый полуфабрикат, роторно-ножевая мельница, лесосечные отходы, комплексное использование древесины.

Abstract

Measures directed on improvement of system of complex processing of wood at a stage of logging by introduction of the rotor and knife mill allowing to receive the wood-fiber semi-finished product from waste of logging operations are developed.

Keyword: grinding, wood-fiber semi-finished product, rotary knife mill, cutting waste, integrated use of wood.

В процессе лесозаготовительных работ образуются отходы, к которым принято относятся: ветки и сучья, вершина, крона, мелкие деревья, кустарники, надломленные деревья, пни и корни [2]. Количество лесосечных отходов может достигать до 25% относительно стволовой части растущего дерева [9]. В России с 2013 по 2017 гг. лесосечные отходы составляли свыше 22 млн кубических метров в год. Стоит отметить, что только 2 млн в год отходов используется рационально, а остальной объем