

На правах рукописи



Нгуен Куок Хунг



00349 156 1

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ  
ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК «КОРОННЫМ РАЗРЯДОМ»  
НА СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ**

Специальность 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

11 ФЕВ 2010

Москва – 2009

Работа выполнена в Московском государственном университете  
прикладной биотехнологии

Научный руководитель:

Кандидат технических наук,  
профессор **Ананьев Владимир  
Владимирович**

Официальные оппоненты:

Доктор химических наук,  
профессор **Коршак Юрий  
Васильевич**  
Доктор технических наук,  
профессор **Марков Анатолий  
Викторович**

Ведущая организация

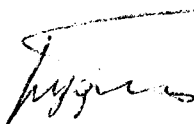
**ОАО межотраслевой институт  
переработки пластмасс - НПО  
«Пластик»**

Защита состоится *«17» февраля* 2010 г. в *14<sup>00</sup>* часов на заседании  
диссертационного совета Д 212.204.01 в РХТУ им. Д.И. Менделеева  
(125047 г. Москва, Миусская пл., д. 9) в аудитории 443 (конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном  
центре РХТУ имени Д.И. Менделеева.

Автореферат диссертации разослан *«15» января* 2010 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 212.204.01



Будницкий Ю.М

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Обработка «коронным разрядом» широко применяется при производстве многослойных пленок для упаковки и при нанесении на них печати. Однако конкретных рекомендаций, позволяющих направленно обеспечивать требуемый уровень адгезионного взаимодействия, до сих пор не выработано, либо они являются предметом «ноу-хау» фирм, производящих соответствующее оборудование. Но даже при соблюдении рекомендаций на производстве часто возникают ситуации, приводящие к возникновению брака по показателю адгезионной прочности. Поэтому выявление взаимосвязи технологических параметров, а также и условий окружающей среды с энергетическими характеристиками поверхности пленок, которые определяют формирование адгезионного взаимодействия, является актуальной задачей.

**Цель и направления исследования.** Задачей данного исследования было установить зависимости между технологическими параметрами процесса обработки коронным разрядом гидрофобных (полиэтилен, полипропилен), и более гидрофильных полимерных пленок (полиэтилентерефталат), и энергией смачивания поверхности. Для этого определяли краевой угол смачивания и рассчитывали энергию смачивания. В качестве параметров процесса приняли:

- зазор и напряжение между электродами, число электродов и их конфигурация, скорость протяжки пленок, частоту генератора «коронного разряда», влагосодержание пленок, состав атмосферы в «коронаторе», удельную мощность обработки пленок, время и условия хранения пленок до и после обработки. Исследования проводили для пленок разной толщины.

**Научная новизна.** Впервые установлены четкие зависимости между технологическими параметрами обработки пленок «коронным разрядом» и изменением энергетических характеристик их поверхности. Установлена взаимосвязь между условиями хранения пленок как до, так и после

обработки и потенциальной адгезионной способностью пленок. При этом установлено, что изменения поверхностной энергии наблюдаются не только на поверхности, обращенной к «активному» электроду, но и на противоположной поверхности пленок.

Выявлена принципиальная разница в поведении гидрофильных и гидрофобных пленок, если до и после обработки они хранились во влажной атмосфере.

Проведены исследования рельефа поверхности методом силовой микроскопии. Установлено, что проведение обработки в условиях, имитирующих промышленные технологические процессы, не приводит к заметному изменению микрорельефа пленок.

Установлено, что обработка пленок в инертной атмосфере не снижает эффективности модификации поверхности.

Для исследованных пленок разной химической природы и толщины получен ряд зависимостей угла смачивания:

- от длительности обработки, от зазора между электродами, от величины тока разряда при разных зазорах, от числа электродов и их конфигурации, от напряжения, от скорости протяжки основы, от условий хранения - влажности и времени.

Они позволяют ранжировать технологические параметры процесса обработки по степени их влияния на результат - степень модификации поверхности пленок, и определять сроки хранения обработанного материала до его использования, гарантирующие достаточно высокие адгезионные характеристики пленок.

**Практическая ценность работы.** Воздействие коронного разряда позволяет существенно улучшить адгезионные свойства полимерных материалов. Это очень важно при склеивании полимеров, печати на пленках и в других процессах. Полученные в ходе исследований зависимости поверхностной энергии практически от всех технологических параметров процесса позволяют выбрать научно обоснованные их значения для

достижения конкретных технологических задач (обеспечение заданного адгезионного взаимодействия).

Установлена взаимосвязь между равновесным углом смачивания поверхности пленок и «натяжением смачивания», которое является основным практическим критерием определения эффективности обработки пленок на предприятиях. Учитывая выявленную взаимосвязь, можно рекомендовать более простой и информативный метод такого контроля.

Определено влияние смачиваемости поверхности на качество распределения на ней полиграфических красок и степень адгезионного взаимодействия краски с поверхностью пленок.

Зарегистрировано появление на поверхности различных функциональных групп методом МНПВО в ИК области спектра.

Определены электрические характеристики обработанных пленок – плотность поверхностного заряда и напряженность поля.

**Апробация работы.** Научные результаты, полученные в работе, представлены на VI, VII, VIII международных конференциях студентов и молодых ученых «Живые системы» в 2007, 2008, 2009 гг. Москва; Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Экологически безопасные ресурсосберегающие технологии и средства переработки сельскохозяйственного сырья и производства продуктов питания», 2009 г., Москва; Первой научно-практической конференции с международным участием «Тара и упаковка пищевых продуктов. Коммуникативные технологии пищевых производств», 2009 г, Москва.

**Публикации.** По результатам диссертации опубликованы 8 печатных работ.

#### **Структура и объем работы.**

Представляемая диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, перечня сокращений, условных обозначений, символов, единиц и терминов, библиографического списка использованной литературы из 106 наименований. Диссертационная работа изложена на 122 страницах,

содержит 46 рисунков и 27 таблиц.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Зависимости между равновесным углом смачивания поверхности пленок дистиллированной водой, энергией адгезии и рядом технологических параметров процесса: напряжением между электродами, величиной зазора, числом и формой электродов, составом атмосферы в устройстве обработки, частотой источника напряжения, мощностью обработки и т.д.;
2. Эффективность обработки при одних и тех же технологических параметрах зависит от толщины пленок;
3. Обработка вызывает изменения в поверхностной энергии и со стороны, противоположной межэлектродному пространству;
4. Эффективность обработки зависит от влажности окружающей среды и кинетика ее изменения при хранении обработанных пленок в сухой и влажной атмосфере разная для полиолефинов и полиэфиров;
5. Равномерность обработки поверхности зависит от соотношения частоты генератора «коронного разряда» и скорости протяжки пленок при обработке;
6. Эффективность обработки в среде чистого азота не меньше, чем в воздушной среде;
7. Созданы и апробированы несколько лабораторных установок для исследования эффективности обработки пленок «коронным разрядом», как автономных, так и встроенных в лабораторную экструзионно-ламинаторную установку. Установки позволяют моделировать обработку пленок в промышленных условиях.
8. Изменение рельефа поверхности не является значимой причиной повышения адгезионного взаимодействия;
9. Установлена зависимость качества нанесения типографских красок и их адгезионной прочности от степени обработки пленок «коронным» разрядом.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и направления исследования.

Первая глава диссертации представляет собой аналитический обзор литературных данных, в которых рассмотрены современные представления о механизме активации полимерных материалов электрическими разрядами. Рассмотрены явления, сопровождающие активацию полимерных материалов коронным разрядом. Описаны методы и конструктивные особенности устройств для активации, использование которых приводит к росту адгезионной способности обрабатываемых поверхностей.

Накоплен большой объем экспериментальных данных, характеризующих, в основном, изменение свойств и структуры поверхности модифицированных в коронном разряде полимеров. Однако, представления о механизме этого процесса существуют в самом общем виде, и являются феноменологическими. Это обстоятельство связано со сложностью процессов и действием множества факторов при обработке поверхности полимеров низкотемпературной плазмой.

Под воздействием коронного разряда на поверхности полимеров наблюдается целый ряд процессов: травление, деструкция и сшивание, образование полярных групп и т.п., которые практически невозможно разделить на последовательные стадии. Процесс модификации является многофакторным, и, как правило, указанные выше его проявления сосуществуют одновременно с единым результатом – изменением структуры и поверхностных свойств полимерного материала.

При переходе от лабораторных исследований к промышленному процессу эти данные оптимизируют и отрабатывают применительно к конкретной используемой установке.

На основании анализа научной и патентной литературы выбраны перспективные направления исследований в области модификации поверхности полимерных пленок, используемых в качестве упаковочных

материалов.

Вторая глава посвящена характеристике объектов и методов исследования. В работе использовали три типа полимерных пленок - из полиэтилена (ПЭ), полипропилена (ПП), полиэтилентерефталата (ПЭТ), толщиной от 20 до 300 мкм. Эти полимеры широко используются как в виде гибкой упаковки, так и термоформованной тары, как в виде монопленок, так и многослойных систем.

Для проведения эксперимента были спроектированы и собраны несколько установок, включающих низкочастотный (50 Гц) и высокочастотный (20-25 кГц) источник регулируемого напряжения (до 30 кВ), и несколько устройств обработки пленок, позволяющих обрабатывать как образцы пленок в виде плоских листов, так и рулонные материалы (рис. 1).

Линейная скорость обработки в устройствах можно было плавно варьировать от 0 до 600 м/мин. с помощью частотного регулятора. Время обработки задавали таймером. Устройства позволяли использовать от 1 до 4 электродов ножевого типа различной ширины (до 300 мм) и плавно регулировать зазор между электродами. Валы «неактивного» электрода имели диэлектрические покрытия разной толщины и химической природы - из фторопласта и силиконовой резины. Таким образом, на лабораторных установках можно воспроизводить условия практически любого промышленного «коронатора». Кроме того, объем «коронатора» можно заполнять, а пространство между электродами продувать потоком газа.

Оценку гидрофильности поверхности полимерных пленок, как обработанных, так и не обработанных «коронным» разрядом осуществляли по величине краевого угла смачивания дистиллированной водой. Затем рассчитывали энергию адгезии.

Оценку электрических характеристик проводили с помощью прибора ИПЭП-1. Измеряли величину заряда на поверхности, плотность поверхностного заряда и напряженность электростатического поля.



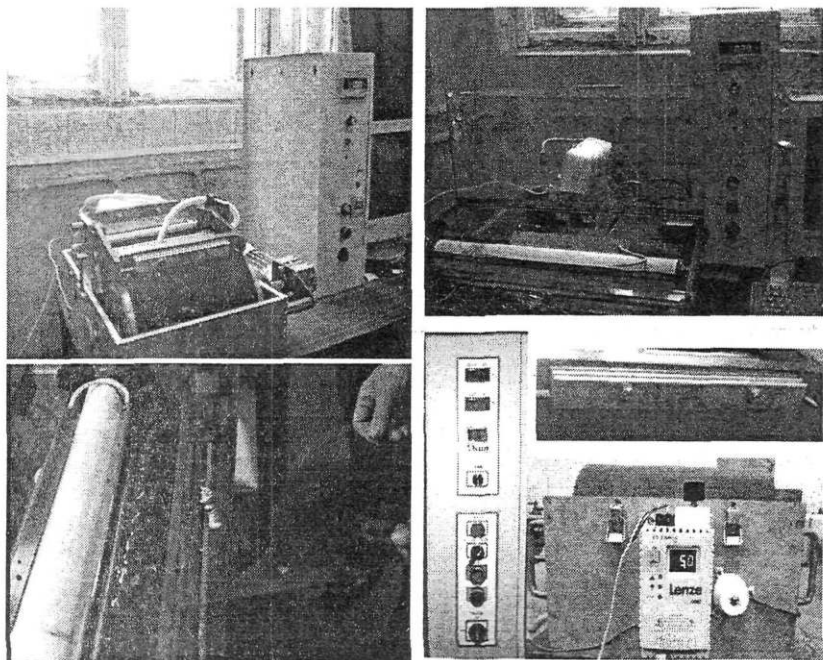


Рис. 1. Лабораторные установки для обработки пленок коронным разрядом.

Наличие функциональных групп на поверхности пленок определяли методом МНПВО с помощью Фурье спектрофотометра ФСМ-1201.

Рельеф исходных и обработанных пленок исследовали методом силовой микроскопии и профилометра-профилографа.

В третьей главе представлены экспериментальные результаты исследований изменения энергетических характеристик, сопровождающих процесс обработки полимерных пленок «коронным» разрядом и роли при этом технологических параметров.

Оценку адгезионной способности полимерных плёнок, активированных коронным разрядом, проводили путём расчёта работы адгезии по уравнению Дюпре-Юнга:

$$W_a = \gamma_1 \cdot (1 + \cos\theta), \quad (1)$$

$W_a$  – работа адгезии жидкости к поверхности полимера, Дж/м<sup>2</sup>;  
 $\gamma_1$  – поверхностное натяжение на границе жидкость-воздух, Н/м;  
 $\theta$  – краевой угол смачивания полимера жидкостью.

В зависимости от режимов обработки полимерных пленок коронным разрядом можно достичь различных значений гидрофильности поверхности. Представляло интерес выяснить, как мощность обработки влияет на эффективность обработки при разных зазорах между электродами.

На рисунках 2 представлены зависимости работы адгезии ПЭТ пленки от силы тока при различных зазорах между электродами, из которых можно сделать вывод, что как увеличение силы тока, так и числа электродов приводит к росту эффективности обработки и при этом мощность обработки влияет больше, чем уменьшение зазора между электродами. Интересно, что характер изменения свойств «необработанной» стороны был таким же, как и у обработанной, но эффект проявлялся в меньшей степени.

Результаты, приведенные на этом и последующих рисунках, однотипны по характеру для пленок разной толщины.

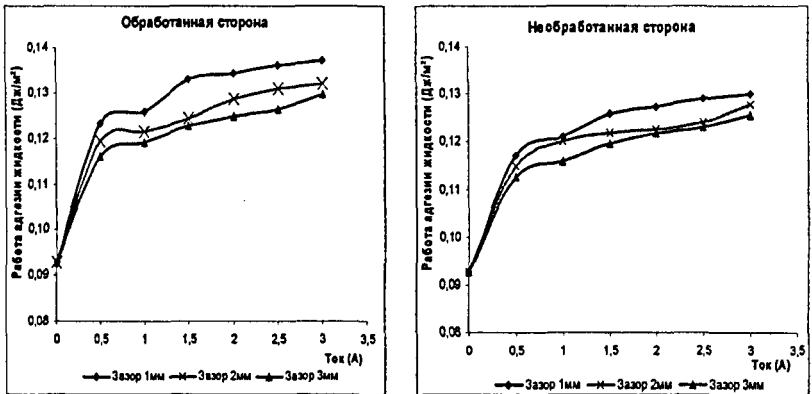


Рис. 2. Зависимости работы адгезии от мощности (силы тока) при различных зазорах между электродами (объект обработки - ПЭТ 200 мкм).

На практике в установках часто используют многоэлектродные

разрядники, поэтому интересно было выяснить, как распределение интенсивности обработки между несколькими электродами влияет на ее эффективность. Плёнки ПЭТ 200 мкм обрабатывали 1, 2, 3 и 4 электродами при постоянном зазоре (2 мм) при различной силе тока в обмотках трансформатора. Зависимости эффективности обработки от силы тока представлены на рисунках 3.

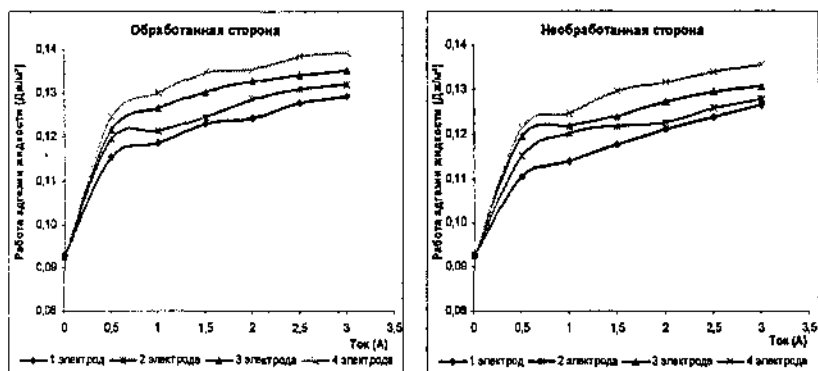


Рис. 3. Зависимости работы адгезии от силы тока в обмотке трансформатора при различном числе электродов (при постоянном зазоре 2 мм).

Анализ графиков позволяет сделать вывод, что при одной и той же мощности увеличение числа электродов приводит к росту эффективности обработки. При этом выигрыш в эффективности может оказаться большим, чем от увеличения мощности. Характер зависимостей однотипен для различной толщины пленок, разных зазоров, а также и для стороны, противоположной «активному» электроду.

В производственных условиях большое значение имеет скорость обработки, от которой зависит производительность линии. Зависимость эффективности обработки от скорости протяжки пленки приведена на рисунках 4.

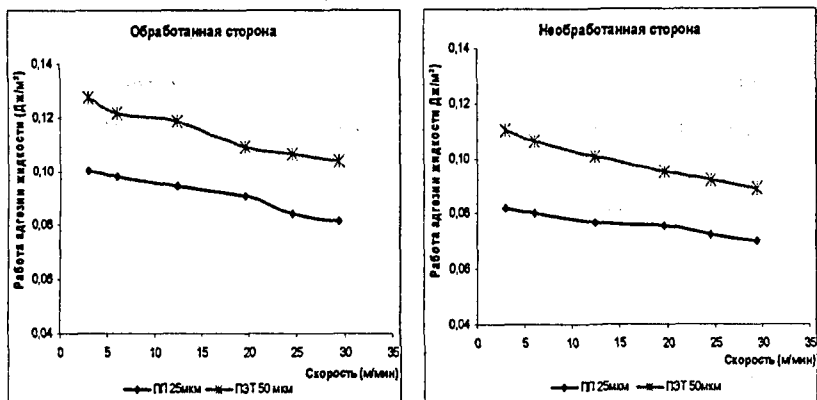
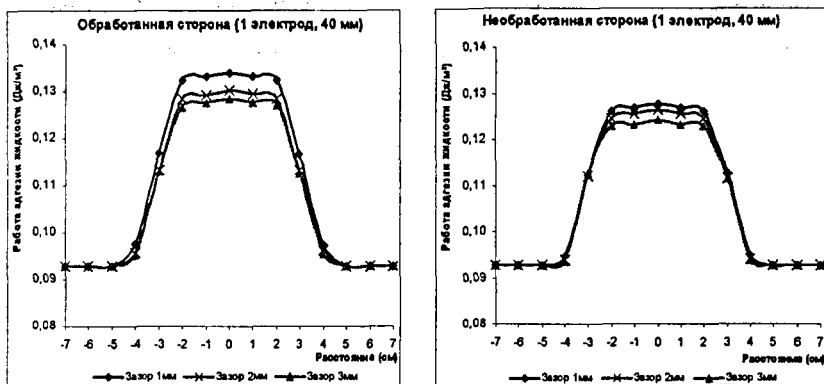


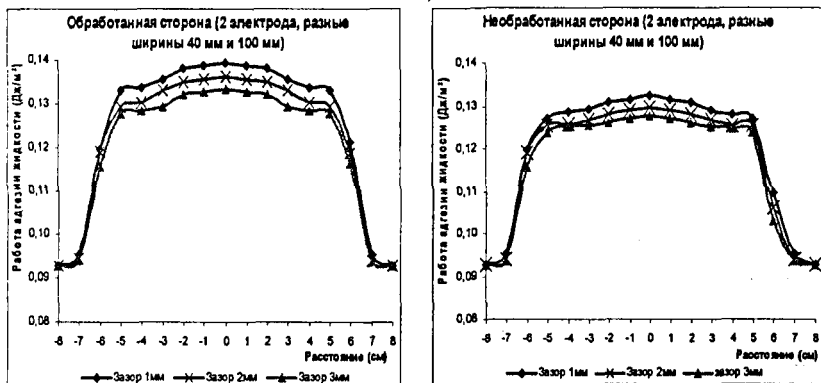
Рис. 4. Зависимости работы адгезии от скорости протяжки для пленок ПП и ПЭТ.

На рисунках 4 видно, что повышение скорости протяжки приводит к снижению эффективности обработки поверхности, но этот эффект слабее, чем зависимость от зазора или, например, числа электродов. Интересно, что как скорость протяжки, так и величина зазора в большей степени сказываются на стороне, обращенной к валу с изоляцией, т.е. на необрабатываемой разрядом стороне, хотя суммарный эффект обработки здесь оказывается меньшим.

Для успешного использования пленочных материалов очень важно, чтобы их свойства были одинаковыми на всей поверхности. Поэтому следовало выяснить, как изменяется степень обработки пленки вдоль ширины электрода. Для этого использовали как электроды разной ширины, так и блоки, составленные из электродов разной ширины, последовательно обрабатывающие поверхность при протяжке пленки. Плёнка ПЭТ толщиной 200 мкм обрабатывалась одним электродом шириной 40 мм при силе тока 1А в различных зазорах.



5а)



5б)

Рис. 5. Зависимости работы адгезии пленок при измерениях поперек ее ширины при различной ширине электродов: а – 1 электрод шириной 40 мм, б – 2 электрода шириной 40 и 100 мм. Точка «0» соответствует середине электрода.

Как видно из кривых, наиболее интенсивная обработка происходит в центре электродов. К краям электродов эффективность обработки снижается, однако обрабатываемая область несколько шире, чем электрод. При этом ширина обработки возрастает при уменьшении зазора.

**Зависимость поверхностной энергии от времени после обработки.**

На графиках представлена кинетика изменения работы адгезии при

хранении обработанных пленок. Плёнка толщиной 200 мкм обрабатывались при силе тока 2А и разным количестве обрабатывающих электродов.

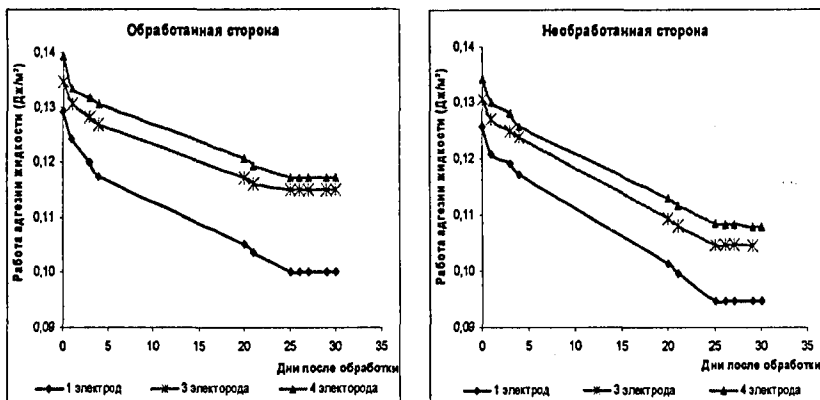


Рис. 6. Зависимости работы адгезии от времени хранения пленок при силе тока 2 А, зазоре 2 мм и различном числе электродов.

Как видно из графиков, в начальный период хранения происходит значительное снижение адгезионной способности пленок, затем скорость изменения ее снижается и, наконец, стабилизируется на уровне, превышающем характеристики необработанной пленки. Такая зависимость характерна для обеих сторон пленки. Аналогичные зависимости наблюдаются и при других режимах обработки пленок.

Известно, что основной эффект обработки связывают с воздействием озона, образующегося в пространстве между электродами при разряде. Атомарный кислород – сильный окислитель и способствует образованию кислородосодержащих групп в полимере. Естественно, в таком случае, ожидать снижения эффекта обработки при подаче в область разряда инертного газа – азота. Плёнку ПЭТ толщиной 200 мкм обрабатывали при постоянном зазоре 1 мм, силе тока 1А в среде воздуха и инертного газа-азота в течение 24,5 с. (1 оборот вращения вала = 2,45 с.). Таким образом, результаты приведены для десятикратной обработки при скорости 15 м/мин.

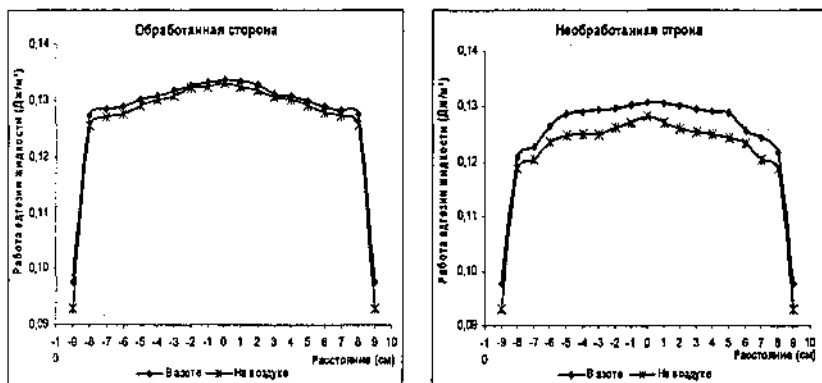


Рис. 7. Распределение значений работы адгезии поперек ширины пленки (ширина электрода 100 мм) при обработке в воздушной среде и при подаче азота в зазор между электродами. Точка «0» соответствует середине электрода.

Однако, как следует из приведенных на рисунках 7 результатов, подача азота не только не привела к снижению эффекта обработки, но даже усилила его. Особенно интересно, что разница между степенью обработки поверхности в воздушной и обогащенной инертным газом среде в большей степени проявилась для стороны, обращенной не к ножевому электроду, а к валу с изолятором, который огибает пленка. Следовательно, на эту поверхность изменение концентрации кислорода должно оказывать меньшее влияние, чем на поверхность, контактирующую с модифицированной атмосферой в области разряда. Такой характер зависимости позволяет предположить более сложный механизм обработки пленок, который требует детального исследования и выявления сложных механизмов обработки, проявляющихся в процессе взаимодействия с плазмой коронного разряда.

Представляло интерес выяснить, как реагируют на обработку коронным разрядом гидрофильные и гидрофобные пленки. В качестве гидрофильной пленки мы брали ПЭТ-пленку, толщиной 200 мкм, а в качестве гидрофобных – ПЭ и ПП- пленки, толщиной 80 мкм и 55 мкм. Определяли угол смачивания поверхности дистиллированной водой и

рассчитывали работу адгезии. Затем обработанные плёнки помещали в эксикаторы 100% и 0% влажности и определяли изменение угла смачивания и работы адгезии через 1, 2, 4, 6 и 48 часов.

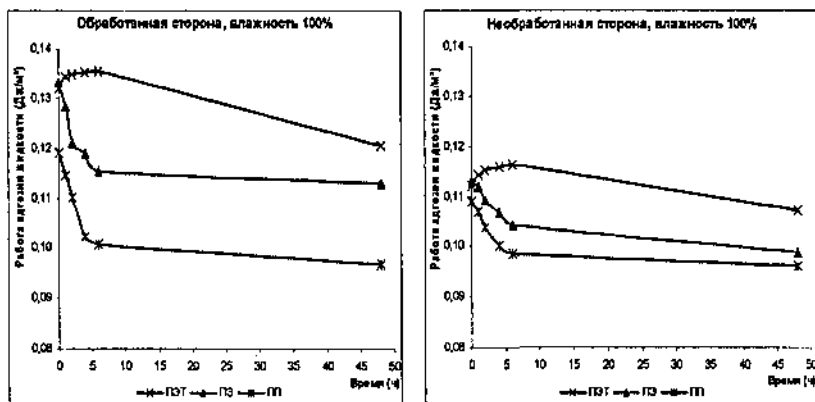


Рис. 8. Зависимости работы адгезии от времени выдержки при сохранении пленки в эксикаторе (влажность 100%).

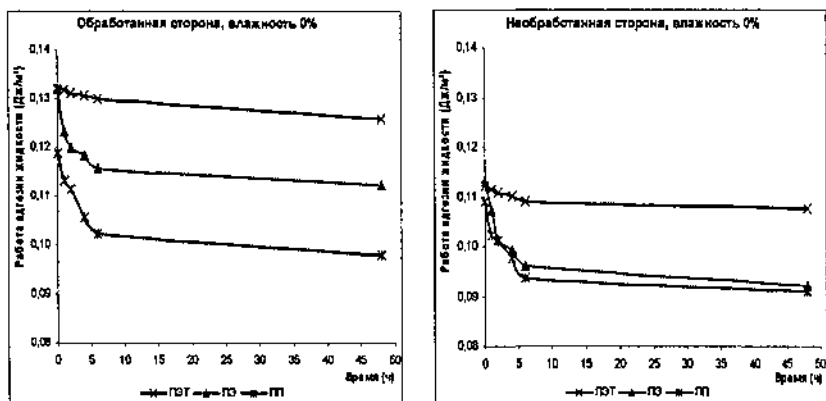


Рис. 9. Зависимости работы адгезии от времени выдержки при сохранении пленки в эксикаторе (влажность 0%).

Как видно из представленных зависимостей, при 100% влажности характер изменения свойств поверхности гидрофильных и гидрофобных плёнок заметно отличается. У гидрофобных ПП и ПЭ величина работы адгезии самая большая после обработки, а затем постепенно уменьшается. У



более гидрофильного ПЭТ до 6 часа выдержки в эксикаторе работа адгезии растёт, а затем плёнка начинает уменьшать свою смачиваемость. В “сухой” атмосфере характер зависимостей одинаков. В этом случае работа адгезии плёнки после обработки плазмой коронного разряда постепенно уменьшается.

На эффективность обработки гидрофильных полимеров влияет предыстория образца, связанная с условиями хранения при различной влажности, а на гидрофобные не влияет. Влажность влияет и на кинетику изменения поверхностных свойств.

Представляло интерес выяснить, как влияет предыстория плёнок на свойства полимера после обработки. Для этого выдерживали гидрофильный ПЭТ и гидрофобный ПП в эксикаторе несколько суток с 0% влажностью, затем обработали их плазмой коронного разряда, а затем поместили в эксикаторы 100% и 0% влажности и вычисляли работу адгезии через определённые промежутки времени. Результаты измерений представлены на графиках (рис. 10 и 11).

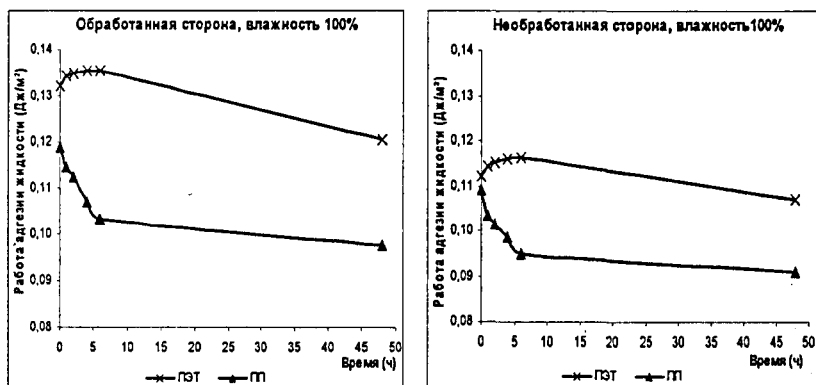


Рис. 10. Зависимость работы адгезии от времени выдержки при сохранении пленки в эксикаторе (влажность 100%) после сушки и обработки коронным разрядом.

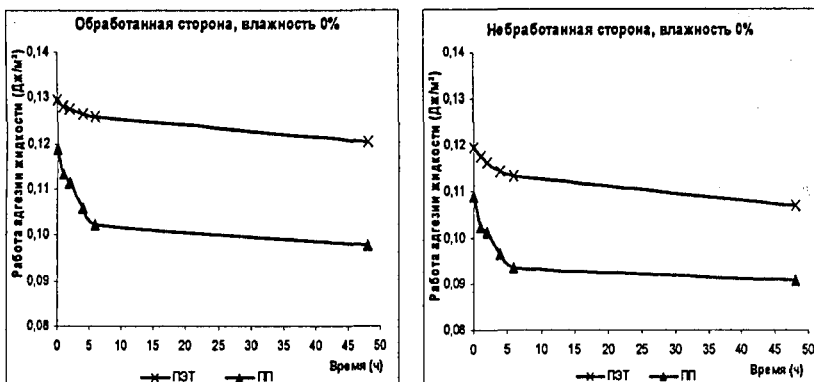


Рис. 11. Зависимость работы адгезии от времени выдержки при сохранении пленки в эксикаторе (влажность 0%) после сушки и обработки коронным разрядом.

В условиях повышенной влажности кинетика изменения свойств поверхности гидрофобного и гидрофильного полимера, обработанного «коронным» разрядом, принципиально отличаются. В отсутствие влаги характер изменения свойств идентичен.

В четвертой главе проведено обсуждение экспериментальных результатов, где на основании сопоставления полученных экспериментальных результатов с существующими представлениями в области физико-химии полимеров дается объяснение наблюдаемым эффектам.

Установлена корреляция между углом смачивания поверхности и «натяжением смачивания», которое в настоящее время является основным производственным методом оценки эффективности обработки (таблица 1). Показано, что значительное изменение состояния поверхности производственным методом оценивается одинаково.

Таблица 1. Соответствие между напряжением при обработке пленки и средствами для проверки активации пленки (ПП 25 мкм, постоянный зазор 2 мм).

Напряжение (кВ)	Угол смачивания (град.)	Работа адгезии жидкости (Дж/м <sup>2</sup> )	Натяжение смачивания (дин/см)
30	50	0,1195	36,37,38,40,41,42,44
28	53	0,1165	36,37,38,40,41,42,44
26	55	0,1145	36,37,38,40,41,42,44
24	57	0,1124	36,37,38,40,41,42,44
22	60	0,1091	36,37,38,40,41,42,44
20	63	0,1058	36,37,38,40,41,42
18	68	0,1000	40
16	73	0,0940	36
14	78	0,0879	36
12	82	0,0829	36
10	85	0,0791	36
8	88	0,0753	нет
6	91,5	0,0708	нет
4	93	0,0689	нет
2	93	0,0689	нет
0	93,5	0,0683	нет

Учитывая простоту метода измерения угла смачивания, можно рекомендовать пользоваться им при оценке качества обработки пленок.

Установлено, что область обработки поверхности полимерных пленок «коронным разрядом» не является проекцией активного электрода. Область обработки несколько больше и, скорее всего, представляет собой конус с вершиной в области электрода. Диаметр основания конуса растет с увеличением времени обработки. Экстраполируя зависимость диаметра от времени обработки и зная частоту разряда, можно оценить размеры области обработки и прогнозировать ее равномерность при различных скоростях протяжки пленки и различных частотах генератора.

Электрические характеристики обработанных пленок – плотность поверхностного заряда и напряженность поля сопоставляли с распределением на поверхности электронейтрального порошка-тонера и

регистрировали плотность и равномерность ее окрашивания, стабильность удержания порошка во времени. Полученные данные коррелировали и с результатами нанесения различного вида типографских красок, оценки равномерности их нанесения и сопротивления отслаиванию с помощью специальной липкой ленты.

Изменение концентрации функциональных групп на поверхности регистрировали методом МНПВО в ИК области спектра.

Структурные исследования – рельеф поверхности изучали методом силовой микроскопии и с помощью профилометра. В результате анализа сканирования профилей поверхности можно сделать вывод, что шероховатость поверхности обработанных и необработанных пленок одинакова в пределах ошибки эксперимента.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в ходе исследований данные о зависимости поверхностной энергии от тока заряда, скорости вращения вала коронатора, ширины и зазоров электродов, атмосферы обработки, времени после обработки и др. имеют важное практическое значение для использования этого процесса в конкретных технологиях.

Анализ результатов экспериментальных исследований позволил сделать следующие выводы:

1. Эффективность обработки растёт при уменьшении зазора между электродами для пленок любой толщины.

2. Увеличение силы тока оказывает большее влияние на эффективность обработки, чем уменьшение зазора между электродами.

3. Увеличение числа электродов приводит к росту эффективности обработки. При этом выигрыш эффективности может оказаться большим, чем от увеличения мощности.

4. В начальный период хранения происходит значительное снижение адгезионной способности пленок, затем скорость изменения ее снижается и,

наконец, стабилизируется на уровне, превышающем характеристики необработанной пленки. Такая зависимость характерна для обеих сторон пленки.

5. Повышение скорости протяжки, хотя и приводит к снижению эффективности обработки поверхности, но этот эффект значительно слабее, чем зависимость от зазора или, например, числа электродов.

6. Скорость протяжки и величина зазора между электродами в большей степени сказываются на стороне, обращенной к валу с изоляцией, т.е. на необрабатываемой разрядом стороне, хотя суммарный эффект обработки здесь оказывается меньшим.

7. Наиболее интенсивная обработка происходит в центре электродов. К краям электродов эффективность обработки снижается, однако обрабатываемая область несколько шире, чем электрод. При этом ширина обработки возрастает при уменьшении зазора.

8. Заполнение коронатора инертным газом не только не привела к снижению эффекта обработки, но даже усилила его. Разница между степенью обработки поверхности в воздушной и обогащенной инертным газом среде в большей степени проявилась для стороны, обращенной не к «активному» ножевому электроду, а к валу с изолятором, который обгибает пленка.

9. Поверхностная плотность заряда для исследуемых образцов полимерных плёнок при увеличении зазора в процессе обработки также снижается, как и их гидрофильность.

10. По мере увеличения интенсивности обработки в воздушной среде происходит заметное увеличение интенсивности полос поглощения, характерных для колебаний кислородсодержащих групп.

11. На эффективность обработки гидрофильных полимеров влияет предыстория образца, связанная с условиями их хранения до обработки, а для гидрофобных не влияет. Влагосодержание среды при хранении влияет на кинетику изменения поверхностных свойств.

12. Полученные зависимости позволяют ранжировать технологические

параметры процесса обработки по степени их влияния на результат - степень модификации поверхности пленок и определять критические сроки хранения обработанного материала до его использования, гарантирующие достаточно высокие адгезионные характеристики пленок.

**Основные результаты работы изложены в следующих публикациях:**

1. Нгуен К.Х., Ананьев. В.В. Использование “коронного разряда” при производстве упаковочных материалов.// Известия ВУЗов (Полиграфия и издательское дело), № 6, 2009. - с. 23-26.

2. Ананьев. В.В., Нгуен К.Х., Бабкина Е.В. “Использование “коронного разряда” при производстве упаковочных материалов”.// Журнал Packaging № 4/5(18) – 2008.- с.66-70.

3. Нгуен К.Х., Ананьев. В.В. Влияние технологических факторов при обработке полимерных пленок коронным разрядом на их свойства.// Сборник материалов 1-ой научно-практической конференции с международным участием "Тара и упаковка пищевых продуктов. Коммуникативные технологии пищевых производств". МГУПП, ноябрь 2009. – с. 54-60.

4. Нгуен К.Х., Ананьев. В.В. Влияние обработки поверхности и нанесение красочной печати на сварку полимерных пленок.// Материалы VI международной конференции студентов и молодых ученых "Живые системы и биологическая безопасность населения", ноябрь 2007.- с.9.

5. Нгуен К.Х., Ананьев. В.В. Подготовка поверхности пластмасс коронным разрядом.// Материалы VII международной конференции студентов и молодых ученых "Живые системы и биологическая безопасность населения", ноябрь 2008.- с.173-174.

6. Нгуен К.Х., Бабкина Е.В., Ананьев В.В. Использование “коронного разряда” при производстве упаковочных материалов.// Материалы VII международной конференции студентов и молодых ученых "Живые системы и биологическая безопасность населения", ноябрь 2008.- с.141-143.

7. Нгуен К.Х., Ананьев. В.В. Методы повышения поверхностной энергии в производстве пленочных упаковочных материалов.// Материалы

VIII международной конференции студентов и молодых ученых "Экологически безопасные ресурсосберегающие технологии и средства переработки сельскохозяйственного сырья и производства продуктов питания", ноябрь 2009. - с.178-179.

8. Нгуен К.Х., Ананьев. В.В. Поверхностная обработка плёночных упаковочных материалов за счет химического взаимодействия с плазмой разряда.// Материалы VIII международной конференции студентов и молодых ученых "Экологически безопасные ресурсосберегающие технологии и средства переработки сельскохозяйственного сырья и производства продуктов питания", ноябрь 2009.- с.196-197.