

ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ

УДК 539.216; 678.7:09.17

А. В. РОГАЧЕВ, доктор химических наук; О. А. САРКИСОВ, ассистент; В. Т. ГАВРИЛЬЧИК, соискатель; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПЛАЗМЕННЫХ И ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Дан анализ современных плазменных и плазмохимических методов обработки машиностроительных материалов. Показана высокая эффективность применения ионной обработки для активации полимерных материалов, методов нанесения многослойных систем на основе алмазоподобных покрытий.

Использование современных материалов и высокоэффективных технологий их обработки является одним из основных направлений повышения надежности и долговечности функциональных узлов транспортных средств, их экономических показателей. При этом, если учесть, что основными причинами повреждения и выхода узлов из строя являются изнашивание рабочих поверхностей трения и коррозия, то особое внимание при выборе методов и средств обработки изделий уделяется проведению поверхностной модификации, нанесению тонких функциональных покрытий. Большой интерес к таким методам обработки обусловлен, с одной стороны, возможностью достижения высоких физико-механических свойств поверхностных слоев и, с другой – реализацией экологически безопасной и энергоресурсосберегающей концепции производства. При этом интенсивное развитие новых методов обработки (плазменных, лазерных, электронно-лучевых и др.) и соответствующего оборудования создают предпосылки их активного и достаточно широкого использования в промышленности.

Анализ основных тенденций развития машиностроения, технологических методов обработки материалов свидетельствует, прежде всего, о высокой технико-экономической эффективности плазменных технологий, процессов, основанных на использовании концентрированных потоков энергии различной природы (ионов, электронов, электромагнитного излучения) [1–4]. В зависимости от условий и режимов реализации все известные плазменные технологические методы можно условно разделить на две основные группы: первая группа – методы обработки, при осуществлении которых не происходит нанесения покрытий с явно выра-

женной границей раздела (поверхностная модификация материалов), вторая – методы формирования покрытий в результате взаимодействия с поверхностью способных к конденсации или полимеризации плазменных потоков. Оба эти направления получили в БелГУТе достаточно активное развитие.

Использование современных электронно- и ионно-плазменных технологий при поверхностной модификации материалов позволяет придать им комплекс специфических, реализуемых только при такой обработке физико-химических свойств [3, 4]. Обработка полимерных материалов потоками ионов и атомов используется для их травления, ионной очистки подложек, легирования различных материалов путем имплантации, активационной обработке поверхностных слоев при нанесении, например, вакуумных покрытий. В последнем случае важным является выбор оптимальных режимов и условий обработки, так как из-за сложности и многофакторности протекающих в поверхностных слоях физико-химических процессов влияние параметров ионного воздействия на структуру и свойства поверхностных слоев не является однозначным.

Проводимые в последние годы исследования показали высокую эффективность данного подхода при активации различных материалов, в том числе полиимидофторопластовой пленки (ПИ + ПТФЭ) (с целью повышения прочности адгезионного соединения) [5], полиэфирных тканей (для повышения качества окрашивания и аппретирования) [6], резин (для улучшения триботехнических свойств) [7], бумаги (с целью улучшения механических и адсорбционных свойств) [8].

Следует отметить также, что при ионной обработке полимерных материалов под действием вы-

сокоэнергетичных частиц в поверхностных слоях протекают сложные физико-химические процессы, характер влияния которых на активационный эффект не изучен. В частности, в работе [9] указывается, что повышение адсорбционной активности обработанных в плазме тлеющего разряда полимеров обусловлено образованием в поверхностных слоях электретного состояния. Не вызывают сомнения и представления о значительном влиянии на структуру и свойства поверхностных слоев протекающих при ионной обработке процессов деструкции, сшивки, окисления, травления [10]. Комплексное, неоднозначное влияние этих процессов на свойства определяют необходимость проведения отдельных экспериментальных исследований, на основании результатов которых можно выбрать и обосновать наиболее эффективный метод обработки, оптимизировать его технологические режимы.

В связи с этим установление кинетических закономерностей влияния метода и режима воздействия атомов и ионов на поверхностные свойства неметаллических материалов, определение их оптимальных значений возможно только на основании проведения отдельных, достаточно больших по объему исследований.

В частности, установлено, что при обработке резин происходит существенное снижение поверхностной энергии, обусловленное, в основном, уменьшением полярной составляющей (рисунок 1) [5]. На основании данных результатов можно заключить, что механизм наблюдаемого изменения поверхностных свойств в значительной степени связан с протеканием в поверхностных слоях химических процессов: деструкции макромолекул, их окислением, и в меньшей степени – с поверхностной зарядкой.

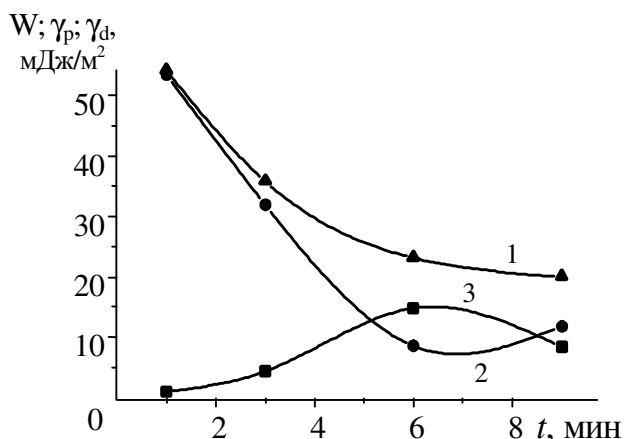


Рисунок 1 – Зависимость полной поверхностной энергии (1), полярной (2) и дисперсионной (3) компонент поверхностной энергии от времени обработки резины пучком ионов азота

Данный вывод согласуется с результатами, свидетельствующими о слабой зависимости активационного эффекта от времени хранения резин после

обработки и степени ионизации высокоэнергетического потока частиц, регулируемой дополнительно проводимой нейтрализацией ионного потока.

При обработке полиимидофторопластовой пленки ионами аргона с энергией 1,2 кэВ кинетические зависимости краевого угла смачивания имеют совершенно иной характер (рисунок 2).

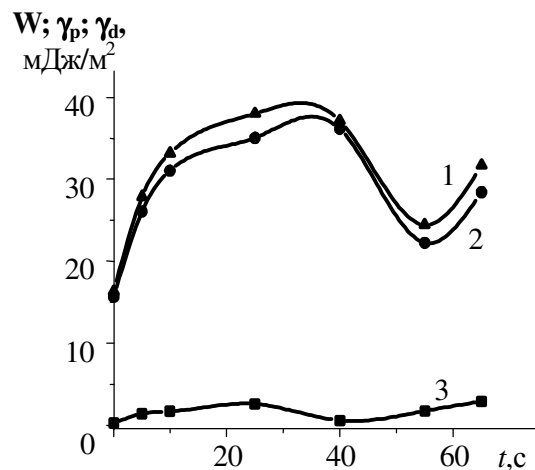


Рисунок 2 – Зависимость полной поверхностной энергии (1), полярной (2) и дисперсионной (3) компонент поверхностной энергии от времени обработки пучком ионов аргона полимерной пленки ПИ+ПТФЭ

Из приведенных данных видно, что уже через 25 секунд после начала ионного воздействия происходит существенное увеличение поверхностной энергии, основной вклад в которую вносит полярная составляющая. Это, по-видимому, объясняется тем, что в результате воздействия ионов с энергией, большей энергии химических связей, происходит их разрыв и образование радикалов, которые способны сохраняться (для ПТФЭ) длительное время. После напуска воздуха в вакуумную камеру происходит взаимодействие их с гидроокисильными группами, что и определяет увеличение полярной составляющей поверхностной энергии. При увеличении времени воздействия ионов Ar^+ (более 40 секунд) протекают более сложные процессы (в том числе травление, радикальные реакции) и поверхностная энергия изменяется сложным образом.

В [8] приведены результаты исследований процессов, протекающих при обработке бумаги в плазме барьерного разряда. Показано, что обработка целлюлозосодержащих материалов в плазме барьерного импульсного разряда является высокоэффективным методом активации поверхностных слоев волокон по всему объему материала. Определены режимы обработки, при которых наблюдается интенсивное травление бумаги и достигается значительная устойчивость к истиранию печатного текста, нанесенного на обработанную таким методом бумагу. Установлено, что основным параметром, определяющим характер воздействия разряда на состояние бумаги, является его мощность.

В качестве примера эффективного применения второй группы: методов при решении ряда технических проблем, а именно: методов формирования покрытий в результате взаимодействия с поверхностью способных к конденсации или полимеризации плазменных потоков – следует отметить, прежде всего, методы нанесения многослойных покрытий на основе алмазоподобных покрытий (АПП) и полимерных слоев, осаждаемых из активной газовой фазы [6, 7, 10 – 16]. С использованием данных методов разработана

технология восстановления и модификации рабочих поверхностей топливной аппаратуры двигателей [13]. Установлено, что наиболее перспективно применение многослойных систем на основе АПА и нитрида титана. Такие покрытия обладают высокими триботехническими свойствами, имеет высокий ресурс и формируются в едином технологическом цикле методами конденсации из импульсной катодной плазмы (покрытия АПП) и при ионной бомбардировке (покрытия TiN) (таблица 1).

Таблица 1 – Триботехнические свойства многослойных покрытий

Покрытие	Толщина отдельных слоев, мкм	Коэффициент трения f	Интенсивность объемного изнашивания $I_v, 10^{-11} \text{ м}^3/\text{м}$
Нет	0	0,52	1,4
TiN	1,1	0,59	0,75
Ti-АПП	0,1 – 0,2	0,22	<0,2
TiN-(АПП-TiN)x4	0,8 – (0,05 – 0,05) · 4	0,18	0,2
TiN-(Ti-АПП)x7	0,8 – (0,01 – 0,05) · 7	0,36	<0,006

В НИЛ «Физика поверхности и тонких пленок» выполнен цикл исследований в области физической химии композиционных тонкопленочных систем на основе полимерных материалов, синтеза органических соединений из активной газовой фазы. В частности, детально рассмотрены основные физико-химические процессы, протекающие при формировании покрытий ПТФЭ, ПЭ и др. полимеров из активной газовой фазы, образующейся электронно-лучевым диспергированием исходного материала в вакууме [14]. Показано, что свойства покрытий определяются кинетикой и параметрами генерации активной газовой фазы, условиями и режимом процессов массопереноса от поверхности диспергирования до подложки и процессов взаимодействия молекулярных фрагментов с твердой поверхностью.

Определены особенности диспергирования политетрафторэтилена, полиэтилена (ПЭ), кремнийорганических олигомеров, их смесей в вакууме электронами с энергией 0,1 – 2,5 кэВ. На основании анализа полученных результатов, характерных параметров процесса сделан вывод о том, что механизм разрушения ряда полимеров следует рассматривать как процесс термической деполимеризации, инициируемый радиационным действием электронов [14, 15]. Установлены закономерности влияния условий и режимов генерации газовой фазы на скорость роста полимерных (ПТФЭ) покрытий [17]. Показано, что скорость осаждения практически линейно возрастает с повышением мощности электронного потока.

Методом атомно-силовой микроскопии и путем измерения поверхностной энергии слоев проведено изучение морфологических особенностей образования покрытия политетрафторэтилена [18]. Установлен нестационарный характер процессов зародышеобразования полимеризационной

фазы. Показано, что уже при малых значениях эффективной толщины полимерного покрытия происходит резкое снижение поверхностной энергии, ее полярной составляющей, что свидетельствует об образовании устойчивой адсорбционной фазы и возможности эффективного аппретирования твердых поверхностей при использовании очень тонких покрытий.

Определены морфологические особенности и химический состав полимер-полимерных покрытий, сформированных совместным или из отдельных источников диспергированием исходных термодинамически несовместимых полимеров [19]. Из исследованных полимерных систем протекание процессов сополимеризации выявить не удалось. Это может быть объяснено различием в механизме электронно-лучевого диспергирования и протекающих на поверхности процессов вторичной полимеризации. Установлены структурные особенности и физико-механические свойства композиционных покрытий на основе полимеров и наночастиц углерода, осаждаемых из активной газовой фазы.

Практическими приложениями данных исследований являются технология обработки из активной газовой фазы волокнисто-тканевых материалов (ткани, бумаги) с целью крашения или аппретирования [6, 16], технология плазмохимического модифицирования резинотехнических изделий [7, 12], получение активных элементов сенсоров. Использование данного метода позволяет практически полностью исключить из техпроцесса жидкие среды (вода, активационные, красящие и промывочные растворы), экономить тепло и электроэнергию, получать материалы со свойствами, достижение которых невозможно другими способами.

Список литературы

1 Научно-технический прогресс в машиностроении: Современные методы упрочнения поверхностей деталей машин: Обзор. информ. Вып. 9 / Под ред. акад. К. В. Фролова. – М.: МЦНТИ, 1991. – 187 с.

2 *Рогачев А. В., Назаренко В. В., Хвалько В. В.* Современные методы обработки материалов и их применение для повышения долговечности деталей подвижного состава // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2001. – № 2. – С. 45–48.

3 *Сидорский С. С.* Энерго- и ресурсосберегающие технологии поверхностного модифицирования машиностроительных полимерных материалов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2001. – № 2. – С. 18–23.

4 *Сидорский С. С., Рогачев А. В.* Вакуумно-плазменные методы обработки машиностроительных материалов / Материалы, технологии и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин/Под общей редакцией П. А. Витязя, С. А. Остапчика. – Мн.: УП «Технопринт»; Новополоцк, НГУ, 2003. – С. 8–12.

5 *Рогачев А. В., Саркисов О. А., Казаченко В. П., Сидорский С. С.* Влияние ионной обработки полимерных материалов на их поверхностные свойства // Полимерные композиты – 2000: Междунар. науч.-техн. конф.: Сб. докл. – Гомель, 2000. – С. 55–59.

6 *Егоров А. И.* Физико-химические закономерности процессов массопереноса при плазмохимическом окрашивании и аппретировании полиэтилентерефталата: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Гомель, 1999. – 19 с.

7 *Петров С. В.* Триботехнические свойства резин, поверхностно-модифицированных в активной газовой фазе: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Гомель, 2002. – 22 с.

8 *Гаврильчик В. Т., Егоров А. И., Казаченко В. П., Стош А. А.* Особенности обработки многослойных и капиллярно-пористых полимерных материалов в плазме барьерного разряда // Полимерные композиты-2003: Тез. докладов ИНТК. / ИММС НАНБ. – Гомель, 2003. – С. 36–37.

9 *Сидорский С. С., Рогачев А. В.* Физика и технология полимерных материалов. – Гомель: БелГУТ, 1994. – С. 11–15.

10 *Бердичевский М. Г., Марусин В. В.* Нанесение покрытий, травление и модифицирование полимеров с использованием низкоэнтальпийной неравновесной плазмы. – Новосибирск: Институт теплофизики, 1993. – 107 с.

11 *Попов А. Н., Казаченко В. П., Рогачев А. В., Сидорский С. С.* Повышение износостойкости поверхностей трения путем нанесения многослойных покрытий // Трение и износ. – 2001. – Т. 22, № 3. – С. 317–321.

12 *Рогачев А. В.* Осаждение полимерных покрытий из активной газовой фазы // Вакуумные технологии и оборудование: Сб. статей. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2003. – С. 123–140.

13 *Рогачев А. В., Казаченко В. П., Попов А. Н.* Износостойкое покрытие для рабочих поверхностей плунжерных пар топливных насосов/ Патент РБ № 3886, решение 28.09.2000 г.

14. *Казаченко В. П.* Кинетика электронно-лучевого диспергирования полимеров в вакууме, структура, свойства покрытий, полученных осаждением летучих продуктов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1992. – 23 с.

15 *Казаченко В. П., Рогачев А. В.* Закономерности диспергирования политетрафторэтилена потоком электронов средних энергий // Химия высоких энергий. – 1999. – Т. 33, № 4. – С. 270–273.

16 *Рогачев А. В., Казаченко В. П., Палий О. И.* Способ обработки волокнисто-тканевого материала/ Патент № 1569, решение от 20.03.1996 года.

17 *Рогачев А. В., Егоров А. И., Казаченко В. П., Сидорский С. С.* Влияние технологических режимов электронно-лучевого диспергирования политетрафторэтилена на скорость роста покрытий из газовой фазы// Материалы. Технологии. Инструменты. – 2000. – Т. 5, № 2. – С. 77–80.

18 *Егоров А. И., Казаченко В. П., Рогачев А. В., Яблоков М. Ю.* Динамика начальных стадий формирования покрытий политетрафторэтилена и их свойства // Журнал физической химии. – 2002. – Т. 76, № 11. – С. 2085–2089.

19 *Казаченко В. П., Рогачев А. В., Сидорский С. С.* Особенности формирования и структура наноконпозиционных вакуумных полимерных покрытий // Транстех-2002: Первая международная науч.-практ. конф.: Сб. материалов – Гомель, 2002. – С.143–145.

Получено 04.11.2003

A. V. Rogachev, O. A. Sarkisov, V. T. Gavrilchik. Condition and prospects of development plasma and plasmachemistry methods of processing of materials.

The analysis modern plasma methods of processing of machine-building materials is given.

Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2003. № 2(7)

УДК 621.822-035.3

В. И. ВРУБЛЕВСКАЯ, доктор технических наук; К. М. СИДОРЕНКО, аспирант; В. Г. ХВОРЫГИН, аспирант; А. Б. НЕВЗОРОВА, кандидат технических наук; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УЗЛОВ ТРЕНИЯ С ПОДШИПНИКАМИ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ

Рассматривается проблема прогнозирования триботехнических свойств узлов трения. Приведена методика математического моделирования режимов трения и описано программное обеспечение, позволяющее осуществлять его.

Одной из основных проблем машиностроения является долговечность и надёжность машин, которые, как показала практика, в основ-

ном определяются выходом из строя подвижных сопряжений, меняющих свои размеры под воздействием сил трения. Это приводит к потере точно-