

Базис  $\alpha, \alpha^p$  можно переписать в несколько иной форме:  $\alpha, \alpha^2$ , если учесть, что

$$\alpha^3 = 1, \quad \alpha^p = \alpha^{2+3t} = \alpha^2 \cdot (\alpha^3)^t = \alpha^2.$$

Следовательно, каждый элемент  $z$  поля  $GF(p^2)$  однозначно представим в виде  $z = x_1\alpha + x_2\alpha^2$  для подходящих элементов  $x_1, x_2 \in GF(p)$ . К примеру, каждый элемент  $t \in GF(p)$  имеет вид

$$t = (p-1)t \cdot \alpha + (p-1)t \cdot \alpha^2.$$

Все вычисления в поле  $GF(p^2)$ , принятые в криптосистеме XTR, проводятся в нормальном базисе. Например, в построенном нами базисе  $\alpha, \alpha^2$ . Для их реализации необходимо предварительно осуществить вывод специфических формул для умножения, деления, возведения в степень элементов поля, а также иных операций выполняемых в выбранном нормальном базисе.

Одним из открытых ключей в XTR-криптосистеме является  $Tr(g)$  – след элемента  $g$  над

полем  $GF(p^2)$ . Вычисление следов также осроумно сводится к вычислениям в поле  $GF(p^2)$ , в базисе  $\alpha, \alpha^2$ .

Таким образом, новая криптографическая система вводит в ареал современной практической криптографии новый для неё математический объект - поля Галуа, требует глубокого освоения ее развитой алгебраической теории.

1. Lenstra, A. K., Verheul, E. R. The public key system. In CRYPTO 2000// Lecture Notes in Computer Science, vol. 1880. Springer-Verlag. 2000. - P. 1 – 19.
2. Криптология: учебник/ Ю.С. Харин [и др.]. – Мн.: БГУ, 2013. – 512 с. – (Классическое университетское издание).
3. Лидл Р., Нидеррайтер Г. Конечные поля. В 2-х т. Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 822 с.
4. Липницкий В.А. Современная прикладная алгебра. Математические основы защиты информации от помех и несанкционированного доступа. – Мн.: БГУИР, 2006. – 88 с.

УДК 678.057.9

## МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ, ГЕРМЕТИЗАЦИИ И СКЛЕИВАНИЯ

**Ксенофонов М.А., Выдумчик С.В., Гавриленко О.О., Павлюкевич Т.Г., Чупрынский С.А.**

*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко»  
Белорусского государственного университета  
Минск, Республика Беларусь*

В данной работе представлено робототехническое оборудование, применяемое для дозирования, смешения и нанесения по заданной траектории герметиков, различных клеевых составов, уплотнителя и уплотнительного контура из силикона и пенополиуретана (технология получение уплотнения по месту).

Суть технологии заключается в точном нанесении по программируемой траектории отдозированной и смешенной двухкомпонентной (возможно многокомпонентной) полиуретановой или силиконовой композиции. Компоненты смеси, вступая в реакцию после смешения, образуют на поверхности или в пазе изделия уплотнение с внешней защитной пленкой (оболочкой или поверхностной коркой).

Новизна разработки заключается в возможности использования комплекса для последовательного нанесения уплотнительных контуров из различных композиций без переналадки оборудования, что позволяет увеличить производительность и в одном технологическом цикле наносить полиуретановые и силиконовые уплотнения на изделия различного назначения.

Комплекс оснащен современной системой управления: промышленный компьютер с 12" цветным сенсорным дисплеем для программирования и визуализации; высокопроизводительный контроллер управления перемещением; программирование перемещения с помощью команд и по заранее подготовленным шаблонам; программирование соотношения компонентов и производительности без механической настройки; задание производительности в программе нанесения для получения требуемой геометрии контура.

Робототехнический комплекс обеспечивает необходимую точность позиционирования, имеет простой и интуитивно понятный интерфейс управления, обладает высокой производительностью и может успешно использоваться на предприятиях электронной, машиностроительной и других отраслях.

В основу работы комплекса положен принцип подачи дозированного количества двух жидких компонентов А и Б в смесительную головку с динамическим перемешиванием и последующим

автоматическим распределением смеси по запрограммированной траектории [1].

Многофункциональный робототехнический комплекс (рисунок 1) состоит из двух основных агрегатов: смесительно-дозировочной установки и механизма координатного перемещения смесительной головки по заданному контуру.



Рисунок 1 – Многофункциональный робототехнический комплекс для уплотнения, герметизации и склеивания

Смесительно-дозировочная установка [2] обеспечивает безопасное хранение пенополиуретановых и силиконовых компонентов и их подготовку к работе, высокоточное дозирование компонентов с их забором из рабочих емкостей и подачей в смесительное устройство в нужной пропорции и состоит из основных функциональных узлов:

- многокомпонентное смесительное устройство (рисунок 2) низкого давления с динамической системой смешения и приводом от электродвигателя, укомплектованное клапанами для подачи компонентов, очистителя и воздуха, устройством предотвращения скапывания, системой автоматической промывки камеры смесительного устройства и сопла с последующей сушкой сжатым воздухом;

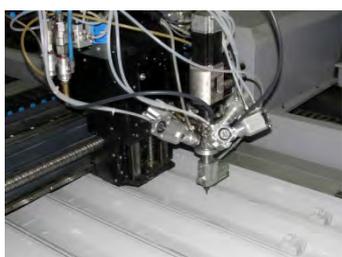


Рисунок 2 - Многокомпонентное смесительное устройство

Многокомпонентное смесительное устройство позволяет оперативно менять реакционно-способные компоненты, их количество и получать полимерные композиты с определенной макромолекулярной структурой, физико-механическими и эксплуатационными свойствами [3].

- герметичные емкости из нержавеющей стали для каждого из компонентов, рассчитанные на внутреннее давление не менее, чем 0,2 МПа и оборудованные системой подогрева и

перемешивающими устройствами с электрическим приводом компонента, датчиками минимального уровня заполнения и температуры компонентов, предохранительными пневмоклапанами, устройством визуального контроля уровня на емкости компонентов, устройством очистки и осушки воздуха, фильтрами для компонентов;

- емкость для растворителя, оборудованная предохранительным пневмоклапаном, контрольным манометром, электроклапаном подачи растворителя, устройством контроля уровня;

- прецизионные химические дозирующие насосы с отдельным приводом от шаговых двигателей для подачи каждого компонента;

- система рециркуляции компонентов;

- пульт управления, обеспечивающий автоматизацию эксплуатации установки, задание и контроль технологических параметров, мониторинг состояния установки с индикацией соответствующих сообщений на жидкокристаллическом дисплее, управление всеми узлами установки в ручном и автоматическом режимах;

- блок подготовки и очистки сжатого воздуха, подаваемого в пневмосистему комплекса;

- пневмооборудование и комплект химически стойких напорных и рециркуляционных трубопроводов;

- основание - металлическая рама.

Механизм координатного перемещения смесительного устройства при нанесении уплотнения является наиболее современным в мировых разработках таких систем, представляет собой трехкоординатный манипулятор с ЧПУ портального типа и состоит:

- трехкоординатная система;

- рабочий стол с пластмассовыми шариковыми опорами и устройством фиксации изделий;

- система ЧПУ (контроллер управления движением);

- каретка для крепления смесительного устройства;

- комплект электрооборудования и кабелеукладчики.

Система управления комплекса обеспечивает функцию нанесения уплотнения из пенополиуретана или силикона на несколько различных или одинаковых деталей, расположенных на рабочем столе и выполнена на базе промышленного программируемого контроллера и системы ЧПУ (рисунок 3).

Система управления и контроля имеет программное обеспечение с интерфейсом на русском языке для программирования, контроля и хранения параметров работы и наносимого уплотнительного контура, оснащена системой световой и звуковой сигнализации режимов работы.



Рисунок 3 - Система ЧПУ трехкоординатного манипулятора

Уплотнение, полученное с помощью робототехнического комплекса, обеспечивает степень герметичности и защиты IP 54-67, а также обладает целым рядом преимуществ: является бесшовным, что исключает стыки и обрезки, характерные для других типов уплотнений, гарантированно препятствует попаданию влаги и пыли внутрь прибора; позволяет добиться лучших звуко-, шумоизоляции и вибропоглощения.

Данное оборудование является собственной разработкой, проектируется и изготавливается в соответствии с индивидуальной спецификой

каждого производства. Благодаря этому все вопросы, связанные с его функционированием, можно решать без обращения в сторонние сервисные центры. Возможна поставка любых необходимых комплектующих и расходных материалов.

1. Ксенофонтов, М.А. Пенополиуретаны. Структура и свойства [Текст] / М.А. Ксенофонтов // Вестник БГУ. - 2011. - Серия 1. - № 3. - С. 48-52.
2. Пат. № 10305 РБ, МПК В 29С 67/20. Установка заливочная смесительно-дозировочная / М.А. Ксенофонтов и др. // Заявка № 20131071 13.12.2013, опубл. 30.10.2014, электр. ресурс Бюл. № 5, стр. 132-134, дата доступа 12.03.2015 г.
3. Пат. № 9922 РБ, МПК В 29В 7/12, В 29В 7/40. Смесительное устройство / М.А. Ксенофонтов М.А. и др. // Заявка № 20130524 17.06.2013; опубл. 28.02.2014, электр. ресурс Бюл. № 1, стр. 163-164, дата доступа 12.03.2015 г.

УДК 621.7.620.186

### ИССЛЕДОВАНИЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИЕЙ И НАНОИНДЕНТИРОВАНИЕМ ТОНКИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ, СФОРМИРОВАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ ВАЛА ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Кузнецова Т.А.<sup>1,2</sup>, Зубарь Т.И.<sup>1</sup>, Чижик С.А.<sup>1,2</sup>, Мясоедов Е.Н.<sup>2</sup>, Лапицкая В.А.<sup>1</sup>, Мишак А.<sup>3</sup>, Лабуда В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Морская академия

Гдыня, Польша

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) является эффективным и распространенным методом улучшения свойств деталей машин [1]. Роликовое ППД основано на микропластическом формировании поверхностных слоев осей, валов и подшипников с помощью роликовых накаток [2 - 4]. Обычно внимание исследователей направлено на степень упрочнения после обработки и шероховатость поверхности. В данной работе представлены результаты исследования пластического деформирования поверхности с учетом оценки свойств микрометровых слоев.

Целью данной работы является экспериментальное исследование морфологии и свойств поверхностных слоев валов после роликового ППД высокоразрешающими методами – атомно-силовой микроскопией (АСМ) и наноиндентированием.

В качестве образцов для исследования выступали валы из нержавеющей стали, поверх-

ность которых подвергалась роликовому ППД от одного до четырех раз. Описание технологического процесса пластического деформирования валов приведено в [5 - 6].

Исследование шероховатости пластически деформированных поверхностей было проведено с использованием контактного профилометра Mitutoyo (Япония). Измерения микротвердости были выполнены на поперечном сечении вала на глубинах до 300 мкм от поверхности двумя методами: с использованием микротвердомера ПМТ-3 (Россия) и НИ Nysitron T1750L Ubi (США). Морфология поверхностей была исследована с помощью АСМ NT - 206 (Беларусь) в контактном режиме с использованием стандартного кремниевого кантилевера с радиусом острия 10 нм и коэффициентом жесткости 0,08 Н/м.

Результаты исследований показали, что средняя шероховатость поверхности после одного прохода составила 128 нм, после второго умень-