



Начальным этапом развития вакуумной техники можно считать 1643 г., когда итальянский физик Эванджеллиста Торричелли изобрел ртутный барометр, в котором атмосферное давление измерялось высотой столба ртути в трубке, запаянной сверху, а нижним концом опущенной в сосуд с жидкостью. Торричелли выяснил, что пространство над ртутью пусто — первоначально вместо вакуума это пустое пространство называли «торричеллиевой пустотой». Ртуть же не выливается из трубки обратно в сосуд потому, что атмосферный воздух давит на ее поверхность в сосуде. Открытие Торричелли противоречило суждению Аристотеля о том, что природа не терпит пустоты, и далеко не сразу было признано учеными того времени.

Вакуумные технологии стали активно изучать в научных лабораториях с середины XX в., а сегодня от вакуумизации производственных процессов напрямую зависит развитие многих современных технологий. В металлургии вакуумная плавка позволяет получать очень чистые материалы. Сварочные процессы и металлообработку (прокатку, прессование, волочение) также целесообразнее проводить в условиях вакуума. Вакуумная сушка применяется при переработке зерна и древесины. В оптике и электронике при помощи вакуум-

ных технологий получают тонкопленочные функциональные материалы, в т. ч. алмазные пленки, применяемые в активных полупроводниковых устройствах, оптоэлектронных переключателях, тепловых субстратах и т. п.

Однако, по мнению специалистов, потенциал вакуумных технологий не исчерпан и наполовину. Для того чтобы расширить наши представления о современных возможностях вакуумной техники, компания «МВК» организовала и ежегодно проводит выставку «ВакуумТехЭкспо».

### **Формирование тонких покрытий**

С помощью технологий вакуумного напыления появилась возможность наносить функциональные и декоративные покрытия из металлов, сплавов, оксидов и нитридов практически на любой вид материалов. Чаще всего для этих целей используются магнетронные распылительные системы (МРС) на постоянном или импульсном токе. Компания «Прикладная Электроника» (г. Томск) предлагает несколько модификаций подобных систем. В первую очередь среди них можно выделить несбалансированные МРС с вращающейся мишенью.

**В протяженных магнетронах с вращающейся цилиндрической мишенью** происходит непрерывное

вращение последней относительно неподвижной магнитной системы. За счет этого достигается высокая степень использования материала мишени — до 70% против обычных 25%. Это очень важно в случае распыления дорогих материалов, например, драгоценных металлов.

Магнитное поле в несбалансированных МРС может создаваться как постоянными магнитами, так и магнитными катушками. При этом катушки позволяют регулировать степень ионного воздействия на растущую пленку непосредственно во время нанесения. Повышение интенсивности ионной бомбардировки растущей пленки позволяет влиять на ее характеристики, в частности, создавать метастабильные фазы, формировать нанокompозитные структуры и т. д.

Выбор магнетронного распылителя зависит от конкретной технологической задачи, однако компания «Прикладная Электроника» способна предложить самые разнообразные распылительные системы. В частности, сбалансированные и несбалансированные протяженные МРС с планарным прямоугольным катодом (мишенью), протяженные МРС с вращающимся цилиндрическим либо дисковым катодом.

МРС с вращающимся катодом используются в высокопроизводительных вакуумных установках при

работе с подложками большой площади. Конструктивно вращающийся магнетрон представляет собой трубу, выполненную из распыляемого металла диаметром 60–120 мм и длиной до 3 м. Внутри катода расположена магнитная система на основе кобальтовых магнитов и каналы для протока охлаждающей воды. Время непрерывной работы такого магнетрона может достигать 150 ч.

**Магнетронные распылительные системы с дисковым катодом** являются наиболее распространенными, хотя область их применения ограничивается лабораторными исследованиями и нанесением покрытий на небольшие подложки. Небольшие габариты, малая мощность, простота обращения делают их чрезвычайно удобными на стадии разработки технологий. Дисковые магнетроны могут помещаться внутри вакуумных камер, в этом случае их можно достаточно свободно перемещать внутри камеры и изменять расстояние между мишенью и подложкой. Однако непосредственно внутри вакуумного объема необходимо использовать диэлектрические трубопроводы охлаждения.

Сбалансированные и несбалансированные дисковые магнетроны могут также иметь внешнее по отношению к вакуумной камере фланцевое крепление. Это позволяет упростить конструкцию и легко изменять такой параметр, как степень сбалансированности магнитной системы.

**Протяженные магнетроны с планарным прямоугольным катодом** используются для нанесения покрытий на крупногабаритные детали — архитектурные стекла, рулонные материалы, т.е. когда высоки требования к однородности толщины наносимых покрытий на всей площади подложки. Протяженные планарные МРС могут иметь три конфигурации магнитного поля и, соответственно, либо сбалансированный магнетрон, либо несбалансированный магнетрон с внутренней разбалансировкой (в третьем варианте — с дополнительными магнитами).

## Ионно-лучевые технологии

**Технология ионно-лучевой очистки** применяется в оптике и электронике для финишной обработки поверхностей подложки пучком ускоренных ионов с энергией до 1500 эВ. Методика обеспечивает очистку от молекулярных частиц, адсорбированных газов, полимерных ферментов, паров воды, а также способствует атомарной активации поверхностных связей подложки непосредственно перед нанесением тонкопленочного покрытия. Применение ионно-лучевой очистки гарантирует более высокую степень адгезии по сравнению с плазменной, что в итоге обеспечивает более длительную и надежную эксплуатацию покрытий.

Фирма «Изовак» (г. Минск, Беларусь) разработала **источники серии IBCS** с различными конфигурациями ионного пучка, которые позволяют проводить очистку практически любых, в т. ч. и крупногабаритных деталей. Достоинством реализуемой технологии является высокая равномерность и скорость очистки плюс возможность обработки под различным углом подложек из металла, полупро-

водников, диэлектриков и полимеров. Размеры источников IBCS составляют от 140 до 3500 мм, что позволяет монтировать их в любых вакуумных камерах поточного и периодического действия.

Ионное ассистирование\*, в отличие от очистки, может проводиться не только перед, но и во время процесса нанесения покрытий методами испарения и распыления в вакууме. Энергия ионов при этом существенно ниже — в диапазоне 30–300 эВ. Эта технология позволяет улучшить адгезию и плотность осаждаемых покрытий. Кроме того, поскольку при испарении оксидных металлов формируются пленки с недостатком кислорода, проведение процесса с ассистированием кислорода дает возможность контролировать структуру формируемых пленочных покрытий и в ряде случаев увеличивать их коэффициент преломления. При этом существенно уменьшаются поглощение, рассеяние и шероховатость пленок, а твердость и стойкость к истиранию повышаются.

Для проведения ионного ассистирования фирма «Изовак» предлагает источники серии «Стрелок» с водоохлаждаемым корпусом и термокомпенсатором с резервной нитью для нейтрализации объемного заряда пучка. Источником магнитного поля в них служит соленоид (катушка).

## Вакуумные насосы

Вакуумные насосы сегодня широко используются во многих отраслях промышленности, в т. ч. в полупроводниковой и электронной, а также в металлургии, производстве тонких пленок, в установках нанесения вакуумных покрытий и термоядерного синтеза и в других высокотехнологических областях, где требуется чистый вакуум. На выставке были представлены самые разнообразные образцы насосной техники как российского, так и зарубежного производства.



Магнетронная распылительная система с дисковым катодом

\* Ионное ассистирование — разновидность ионно-лучевой обработки, сопровождающая процесс нанесения покрытия.

Компания «Мегатехника» (г. Санкт-Петербург) демонстрировала на своем стенде **мембранные безмасляные насосы серии МВНК**. Такие аппараты используются для откачки воздуха и паров при давлении ниже атмосферного. Перемещение газа в них происходит за счет изменения объема рабочей камеры в результате деформации упругой мембраны. Для достижения большей производительности и минимального значения остаточного давления приходилось изготавливать крупногабаритные мембраны, что соответственным образом влияло на размеры всего аппарата.

Специалисты компании «Мегатехника» разработали новую конструкцию для насосов МВНК, которая не имеет трущихся деталей и не требует обработки смазочными веществами. Единственное требование — мембрана должна быть выполнена из химически неагрессивного износо- и коррозионно-стойкого материала: нержавеющей стали, пластика или алюминия. Мембранные деформации новых насосов МВНК позволяют достигать производительности от 0,3 до 16 м<sup>3</sup>/ч и остаточного давления до 2 мм рт. ст.

Являясь универсальным оборудованием практически для любого производства, насосы МВНК обеспечивают отвечающую требованиям сегодняшнего дня экологическую чистоту: как и все вакуумные устройства, они работают на сжатом воздухе и не загрязняют окружающую среду смазочными веществами.

На стенде компании «Миллаб» (г. Москва) был представлен **трехступенчатый мембранный насос серии Vario-SP** производительностью 1,7 м<sup>3</sup>/ч. Он отличается небольшими размерами, малым весом и очень тихим ходом. Благодаря наличию привода с регулируемой скоростью такие насосы обладают значительно более высокой производительностью и достигают более низкого предельного вакуума по сравнению с аппаратами, имеющими постоянную скорость откачивания. Компактная конструкция и разнообразные монтажные позиции делают серию Vario-SP идеальной для встраивания в ва-



Мембранный безмасляный насос серии МВНК на стенде компании «Мегатехника»

куумные системы детекторов утечки, газоанализаторов, регенерации криогенных насосов. Бесщеточный мотор постоянного тока на 24 В с регулируемой электроникой позволяет применять насосы везде независимо от напряжения сети.

Для получения «сухого» вакуума, в котором отсутствуют даже следы углеводородов, фирма CCS Services (г. Москва) предлагает использовать новые **спиральные вакуумные насосы TriScroll** компании Varian (США). Их работа основана на способности перекачивающихся спиралей эффективно откачивать газ.

Благодаря автоматически поддерживаемому воздушному балласту вакуумные насосы TriScroll характеризуются повышенной устойчивостью к конденсируемым газам. В обычной комплектации они применяются для откачивания чистых атмосферных газов. Для работы в агрессивных средах или с высокой влажностью необходимо дополнительно установить систему продувки, которая защищает подшипники насоса от коррозии. Благодаря продувке подшипников и стандартному газовому балласту такое оборудование обладает повышенной надежностью при работе с умеренно коррозионно-активной средой.

В двухкамерных насосах Varian TriScroll можно устанавливать допол-

нительный изоляционный клапан, который обеспечивает мгновенную изоляцию откачиваемого объема от аппарата в случае внезапного прерывания работы. Это позволяет полностью избежать попадания потока частиц из атмосферы в откачиваемый объем.

Представленный на выставке **двухкамерный насос TriScroll 300** можно использовать как форвакуумный для турбомолекулярных насосов со скоростью откачки 500–1000 л/с. TriScroll 300 позволяет создать в вакуумных системах предварительное разрежение для получения высокого вакуума с наименьшими затратами энергии.

Турбомолекулярные насосы — одно из самых широко используемых в науке и промышленности средств получения высокого и сверхвысокого вакуума. Они широко применяются в электронной промышленности, научных исследованиях, установках имитации космических условий, пылевых установках и т. д.

Серия **турбомолекулярных насосов** последнего поколения **Turbo-V Navigator** компании Varian со скоростью откачки от 70 до 6000 л/с отличается компактной конструкцией, которая не требует смазки и техобслуживания. В насосах данного типа используются преимущественно комбинированные шарикоподшипники с

шариками из нитрида кремния с консистентной смазкой, что позволяет отнести их к сухим средствам откачки, т. к. давление насыщенных паров такой смазки незначительно.

Насосы Turbo-V Navigator работают в любой ориентации и обычно с воздушным охлаждением. Серию характеризует простота в использовании и полный микропроцессорный контроль всех параметров посредством встроенного блока управления. Прочный ротор и надежная электроника с датчиками защиты позволяют использовать аппараты даже в цеховых условиях.

Другой вариант **турбомолекулярных насосов моделей ТМН-50/63 и ТМН-150/63** был представлен на стенде завода «Измеритель» (г. Санкт-Петербург). Предназначены они для создания высокого и сверхвысокого вакуума в таких областях, как масс-спектрометрия, течеискание, ускорение элементарных частиц, производство электровакuumных и полупроводниковых приборов, атомная и ракетно-космическая промышленность. В конструкции насосов статор привода вынесен из вакуумной области, что обеспечивает надежное охлаждение катушек и позволяет работать при температуре корпуса до 120 °С.

### Системы вакуумного прессования

Вакуумное прессование применяют в строительстве, авиастроении, мебельной промышленности и деревообработке для приклеивания объемных и криволинейных элементов к плоской поверхности, а также склеивания составных частей объемного изделия. **Системы вакуумного прессования** включают в себя минимум оборудования. Это, прежде всего, вакуумный мешок, насос, герметизирующий зажим, соединительный шланг с фланцами, вакуумметр и фильтр.

Процесс прессования максимально прост. Подготовленные и промазанные клеем заготовки помещаются внутрь вакуумного мешка. Мешок закрывается С-образным зажимом и из него при помощи вакуумного



Пластинчато-роторный насос DVP, предлагаемый компанией MSH Techno

насоса откачивается воздух, так что атмосферное давление (величиной от 9 тс/м<sup>2</sup> и более) равномерно со всех сторон сжимает изделие.

Компания MSH Techno (г. Москва) предлагает использовать для комплектации систем вакуумного прессования **пластинчато-роторные безмасляные вакуумные насосы DVP** итальянского производства. Оборудование работает без применения смазок в рабочей камере и не загрязняет откачиваемый воздух парами масла. Пластины насосов выполнены из антифрикционного композиционного материала на основе графита, при этом их число меньше, чем у аналогичных моделей других производителей. В совокупности с длительным сроком службы это дает существенную экономию на техническом обслуживании. Все аппараты укомплектованы встроенными воздушными фильтрами для предотвращения попадания внутрь пыли и посторонних предметов.

Кроме того, компания MSH Techno предлагает четыре типа **вакуумных мешков**. Стандартные мешки из ПВХ толщиной 400 мкм подходят для большинства операций в деревообработке и мебельной промышленности. Они могут закрываться с помощью С-зажима, специального мягкого замка типа Zip-Lock или просто

под действием вакуума. В последнем случае мешок должен быть длиннее детали примерно на 1 м. Стандартная ширина таких мешков составляет 1370 мм, длина может варьироваться от 2500 до 4000 мм.

Полиуретановые вакуумные мешки толщиной 900 мкм обладают повышенной прочностью, эластичностью, износостойкостью. При использовании мешка из полиуретановой пленки изделия можно нагревать до 100 °С с целью ускорения процесса склейки.

Для горячего прессования предлагаются силиконовые вакуумные мешки толщиной 1 мм с температурной стойкостью 200 либо 250 °С. Стандартная комплектация, помимо мешка размерами 2500×1350 мм, включает герметизирующий металлический замок и металлический штуцер с силиконовой термостойкой трубкой. Для подключения вакуумного насоса к мешку используются армированные ПВХ-шланги с фланцами, вакуумметром, отсечным клапаном и клапаном пуска атмосферы. С целью защиты насоса от попадания посторонних частиц рекомендуется использовать вакуумный фильтр, а чтобы обезопасить его от паров воды и капель влаги — влагосепаратор.

**Марина Народовая,**  
фото автора