

Литература

1. Jousten K. Handbook of Vacuum Technology, Second Edition. Weinheim: Wiley-VCH, 2016. 1026 pp.
2. The VIPM key comparison data base [Электронный ресурс] // bipm.org: [сайт]. [2002]. URL: <http://kcdb.bipm.org/> (дата обращения: 11.Декабрь.2016).
3. Кузьмин В.В., Аляев В.А. Техника измерения вакуума. Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2009. 300 с.

Применение акустически стимулированной термодесорбции в производстве электровакуумных СВЧ приборов

*И.Ф.Ханбеков, И.П.Ли, В.С.Петров, *В.П.Михайлов*
Москва, ОАО Плутон, ул. Нижняя сыромятническая 11,
E-mail: i.khanbekov@pluton.msk.ru
**МГТУ им. Н.Э.Баумана, ул. 2-я Бауманская 5.*

В статье описываются недостатки действующей технологии обезгаживания электровакуумных приборов и перспективы использования альтернативных видов десорбции в производстве. Описывается метод ускоренного перевода газовых компонентов, адсорбированных на внутренних поверхностях электровакуумного СВЧ прибора и растворенных в толще металлических и неметаллических деталей изделия в свободный газ за счет одновременного термического и акустического воздействия на корпус прибора. Приведены сравнения скорости газоотделения при различных технологиях откачки электровакуумных приборов. Дано физическое объяснение механизма термоакустической десорбции газовых компонентов в вакууме.

Implication of acoustically stimulated thermal desorption in production of electro-vacuum microwave devices. I.Khanbbekov, I.Li, V.Petrov, V.Mikhaylov. Shortcomings of the operating technology of electro-vacuum devices degassing and the prospect of alternative types of desorption use for production are described. The degassing of these elements occurs due to thermal and acoustic factors. Comparisons of gas desorption speed at various technologies of pumping of electro-vacuum devices are given. The physical explanation of the thermo-acoustic desorption of gas components in vacuum is offered.

Откачка электровакуумных приборов СВЧ диапазона (далее ЭВП СВЧ) наиболее длительный, энергозатратный и ответственный технологический процесс, в ходе которого формируется работоспособность всего изделия. В настоящее время откачке ЭВП СВЧ уделяется недостаточное внимание, зачастую, технология не менялась с момента создания, несмотря на то, что за последние 30-40 лет произошел ощутимый прогресс в области вакуумной техники.

Откачка ЭВП СВЧ происходит по классической схеме, с использованием ступенчатого нагрева корпуса изделия и изотермической выдержки при температуре около 550°С. Длительность такого процесса может достигать нескольких десятков часов. Очевидно, что ускорить откачку электровакуумных приборов, придерживаясь классической технологии невозможно ввиду того, что возможности термодесорбции в данном случае исчерпаны, и дальнейшее повышение температуры приведет к повреждению или разрушению элементов ЭВП СВЧ. Использование более мощных насосов увеличит габариты действующих установок,

потребуется больших финансовых вложений, при этом, позволит несущественно повысить скорость откачки, которая в данном случае лимитируется пропускной способностью штенгельной трубки.

Более эффективным способом ускорения откачки ЭВП СВЧ, может являться использование нетермических видов десорбции, что позволит интенсифицировать газоотделение. Из всех существующих видов десорбции наиболее целесообразно применение акустической, а точнее, акустически-стимулированной термодесорбции, так как подобный метод прост в реализации и не требует больших финансовых затрат, что позволит существенно повысить эффективность откачки приборов.

Механизм акустически стимулированной термодесорбции сложен и состоит из нескольких одновременно протекающих процессов, способствующих ускорению десорбции и откачки газовых компонентов из вакуумного объема ЭВП СВЧ.

Повышение интенсивности тепловой десорбции с использованием акустических колебаний может происходить вследствие стимуляции отделения от поверхностей, находящихся в вакуумном объеме, коллоидных частиц за счет сообщения им механического ускорения. Известно, что процесс удаления газов из стенок прибора в какой-то степени параллелен процессу стряхивания с внутренних стенок прибора микроскопических частиц крупнокolloидных размеров [1]. Действительно, на всех деталях внутренней арматуры изделия находится значительное количество инородных частиц, которые не только замедляют откачку, закрывая собой участки поверхностей, но и сами являются источниками газовых потоков.

Еще одним фактором, ускоряющим откачку ЭВП СВЧ, является направленное ускорение десорбированных молекул свободного газа поверхностной акустической волной, распространяющейся от откачиваемого объема в сторону более низкого давления, этот эффект описан в источниках [2,3].

Предположительно, основным механизмом, интенсифицирующим десорбцию газовых компонентов, является дополнительная энергия, сообщаемая акустическими колебаниями кристаллической решетке металла. Основным механизмом термодесорбции- тепловые колебания молекул газа, покрывающих внутренние поверхности откачиваемого объема, амплитуда которых увеличивается с повышением температуры, что способствует ускорению разрыва адсорбционных связей. Рассматриваемые колебания можно разделить на виды, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Спектр упругих волн.

1Гц	1кГц	1МГц	1ГГц	1ТГц
инфразвук	звук	ультразвук	гиперзвук	тепло

Таким образом схематически термодесорбцию стимулированную акустическим полем можно представить следующим образом: движение термически активированных атомных частиц кристаллической решетки металла при помещении в акустическое поле показано на рис.1. Каждая атомная частица изображена точкой внутри окружности, диаметр которой характеризует область пространства, в котором происходят колебания тепловой природы в ТГц диапазоне. Частицы, обозначенные косыми крестами, условно обозначают адсорбированный газовый монослой, способный переходить в свободный газ при десорбции с поверхности деталей внутренней арматуры ЭВП СВЧ. Десорбция газов растворенных в объеме металла происходит по диффузионному механизму с промежуточной адсорбцией на поверхности. Тепловые колебания атомов металла при нулевом акустическом поле происходят относительно стационарных центров равновесия, в акустическом поле тепловые колебания происходят относительно динамически подвижных центров равновесия.

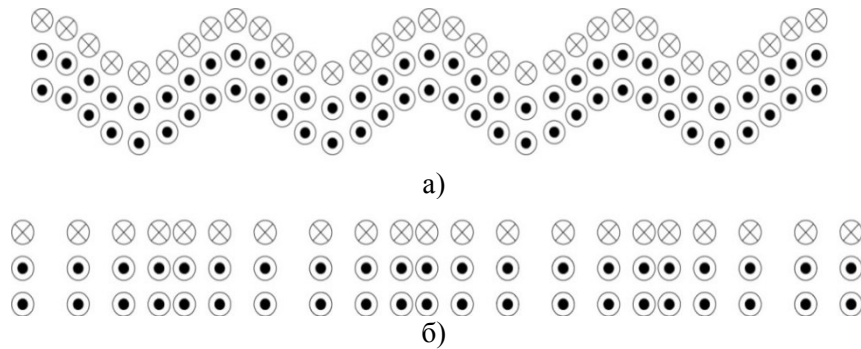


Рис.1. Упрощенная геометрическая модель гармонических колебаний атомных частиц в металле, покрытом слоем адсорбированных газовых молекул при распространении акустической волны: а) движение частиц среды при распространении поперечной волны, б) движение частиц среды при распространении продольной волны.

В результате механического возбуждения атомов материала возникают дополнительные десорбционные потоки свободного газа, которые откачиваются вакуумным насосом. Так же, как и при тепловом воздействии, увеличение амплитуды колебания приводит к двум последовательным этапам десорбции, первичной поверхностной и вторичной объемной [4].

Эффективность акустически стимулированной термодесорбции была подтверждена экспериментами, суть которых заключалась в регистрации повышения давления газовых компонентов в предварительно откачанном до $1 \cdot 10^{-7}$ Торр вакуумном объеме ЭВП СВЧ. В первом случае испытания проводились без прогрева корпуса изделия. На графике (рис.2) показана временная зависимость повышения давления остаточных газов в объеме магнетрона после отключения высоковакуумного насоса. Кривая 1 – показывает повышение давления без акустического воздействия, кривая 2 – с акустическим воздействием, соответственно. Точки а и б условно обозначают одинаковое насыщение вакуумного объема десорбированными газами за разное время.

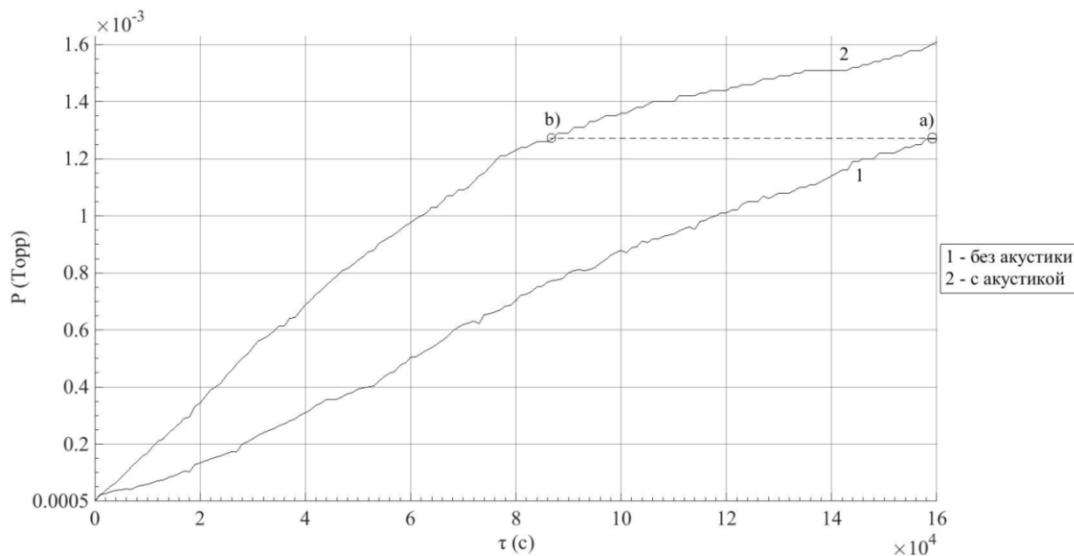


Рис.2. График временной зависимости повышения давления остаточных газов в объеме магнетрона.

Во втором случае к аналогичному испытанию был добавлен прогрев корпуса магнетрона. На графике (рис.3) показано повышение давления остаточных газов в объеме корпуса магнетрона при возрастании температуры по линейному закону со скоростью $9^\circ\text{C}/\text{мин}$ в интервале $20 \div 393^\circ\text{C}$. Залповый выброс десорбированных молекул воды при термической десорбции, пик а), проявился через 37,5 мин. при температуре 357°C , а при акустически стимулированной термической десорбции пик б) проявился через 17,7 мин при температуре 182°C , следовательно, длительность откачки сокращена в 2,12 раза, температура эффективной десорбции молекул воды снижена на 175°C , т.е. \sim в 2 раза [4].

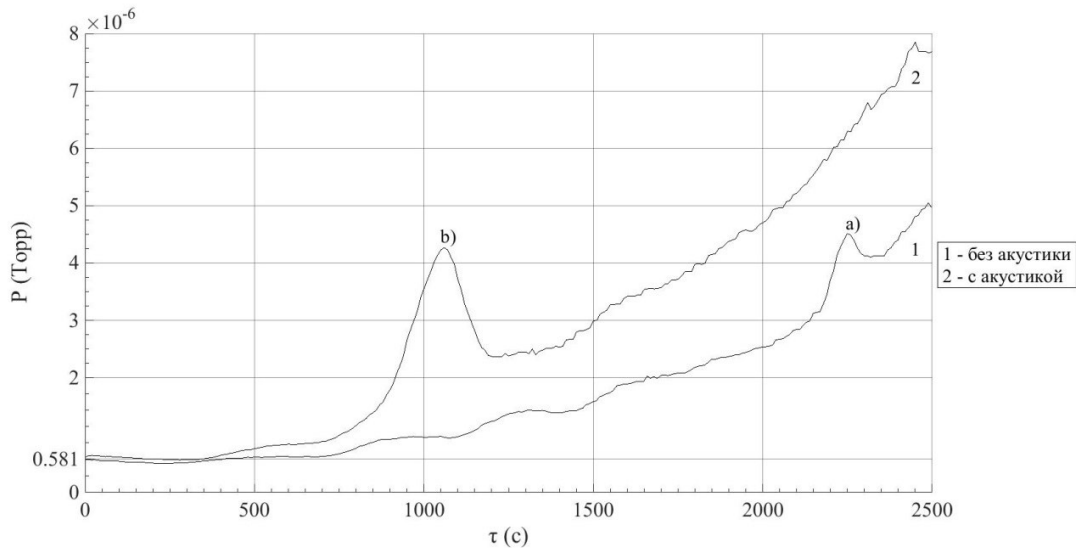


Рис.3. График временной зависимости повышения давления остаточных газов в объеме магнетрона с прогревом.

Таким образом, можно сделать вывод об эффективности акустически стимулированной термодесорбции, очевидно, что подобное решение позволяет повысить интенсивность десорбции газовых компонентов с внутренних поверхностей обрабатываемого изделия, сократить продолжительность времени откачки электровакуумных приборов, а следовательно, позволит увеличить объемы выпуска готовой продукции.

Литература

1. Остроумов Г.А., Федотов Г.А. Об использовании ультразвука при откачке электровакуумных приборов. Акустический журнал, том 19, вып. 1, 1973. с. 76 – 79.
2. Макаров Александр Алексеевич, Лускинович Петр Николаевич, Рыжиков Илья Анатольевич. Способ откачки газов и вакуумный насос для откачки газов. Патент РФ на изобретение № 2079000.
3. Айтхожин С.А. Способ высоковакуумной откачки и насос для его реализации. Заявка на изобретение №95105038.
4. Ли И.П., Лифанов Н.Д., Петров В.С., Ханбеков И.Ф., Катлицкий Я.Ю., Аленков В.В., Забелин А.Н., Сахаров С.А., Заявка о выдаче патента Российской Федерации на изобретение №2016137957.