

ON THE ISSUE OF OUTGASSING FROM THE ADHESIVE JOINTS IN THE VACUUM ELECTRONIC MECHANICAL DEVICES

S.A. Garelina¹, R.A. Zakharyan², M.A. Kazaryan³, I.N. Feofanov³

¹Academy of Civil Protection, Ministry of Emergency Situations
Khimki, Novogorsk microdistrict, 141435 Russia
e-mail: rolru@mail.ru

²Tarusskii branch of A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS
6 Engels Str., Tarusa, Kaluga Reg., 249100 Russia
e-mail: razleib@yandex.ru

³P.N. Lebedev Physical Institute of RAS
53 Lenin Av., Moscow, 119991, Russia
ph.: +7 499 135 78 90, e-mail: kazarmishik@yahoo.com
ph.: + 7 499 132 64 32, e-mail: ivan@feofanov.ru

Referred 26 January 2015 Received in revised form 29 January 2015 Accepted 01 February 2015

The outgassing from the adhesive joints, the use of which will significantly simplify the assembly of the vacuum electro-mechanical devices, has a negative impact on the operation of these devices, reducing their lifespan.

The article solves the problem of reducing the rate of outgassing from the adhesive joints in vacuum electro-mechanical devices due to thermal processing (drying), which is widely used in industry.

For 14 industrial adhesives (E505, P102, E207, H74UNF, H77S, 353ND, Resbond 940LE, Resbond 989F, Cera-bond 618N, WB-21, Anyterm 106, C, OS-52, OS-92), suitable for assembly electro-mechanical devices, the paper defines qualitative and quantitative composition of the atmosphere of the residual gas generated inside electro-mechanical devices due to outgassing from the adhesive joints that enables us to pick the gas absorption elements and their mode of operation to maintain the vacuum.

In order to improve the reliability of the study results, the research was carried out by two methods: mass spectrum (mass spectrometer «MI-1311»), and opto-acoustic (gas analyzer «Megacon 10K»).

The paper estimates maximum speed of outgassing for precise vacuum electro-mechanical device with a lifetime of 15 years. There is the developed model of the kinetics of outgassing to determine the modes of thermal processing process adhesives, namely, temperature, duration and atmosphere (vacuum or air), providing the necessary speed outgassing from the adhesive joints for normal operation of the vacuum electro-mechanical devices.

Based on the experimentally derived values of the velocities of the outgassing components of the residual gas for the two modes of thermal processing adhesives are calculated outgassing speed for other modes and selected the optimal parameters of thermal processing.

Keywords: vacuum electro-mechanical devices, the manufacture of electro-mechanical devices, adhesive joints, outgassing from the adhesive joints, thermal processing of the adhesive joints, drying adhesive joints.



*Захарян Роберт Артушевич
Robert A. Zakharyan*

Сведения об авторе: исполняющий обязанности директора Тарусского филиала института общей физики им. Прохорова РАН.

Образование: в 1984 г. окончил Ереванский политехнический институт им. К. Маркса по специальности "Автоматика и телемеханика".

Область научных интересов: приборостроение для экологии и лабораторных исследований, газовый мониторинг окружающей среды, исследование полимеров и катализаторов.

Публикации: 20.

Information about the author: Acting Director Tarusskii branch of A.M. Prokhorov General Physics Institute of RAS.

Education: K. Marks Yerevan Polytechnic Institute.

Area of researches: instrument-making for environmental and laboratory investigations, gas monitoring for environment.

Publications: 20.





Феофанов Иван Николаевич
Ivan N. Feofanov

Сведения об авторе: аспирант, младший научный сотрудник Физического института имени П.Н. Лебедева РАН.

Образование: МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет.

Область научных интересов: оптика, физика лазеров, нанопотоники.

Публикации: 12.

Information about the author: graduate student, junior researcher P.N. Lebedev Physical Institute of RAS.

Education: Lomonosov Moscow State University.

Area of researches: optics, laser physics, nanophotonics.

Publications: 12.

Введение

В работе [1] показаны преимущества использования клеев для сборки вакуумных электронно-механических приборов (ЭМП). В работе [2] на основе анализа таких характеристик, как механическая прочность, термическая устойчивость и длительность срока службы клеевых соединений, осуществлен подбор промышленных клеев, обеспечивающих прочностные и термические требования, предъявляемые к клеевым соединениям в ЭМП. Для нормальной работы ЭМП пригодны 14 клеев, выпускаемых ведущими зарубежными фирмами и отечественными предприятиями: E505, P102, E207, H74UNF, H77S, 353ND, Resbond 940LE, Resbond 989F, Cerambond 618N, BK-21, Анатерм 106, K400, OC-52, OC-92.

Существенным недостатком, ограничивающим применение клеев для сборки вакуумных ЭМП, является газовыделение из клеевых соединений внутри ЭМП, которое продолжается в течение всего его срока службы. Газ, образующийся внутри ЭМП, называется остаточным. Остаточный газ оказывает негативное влияние на работу вакуумных ЭМП. Требования по уровню давления остаточного газа для нормальной работы точных ЭМП – до 10^{-6} мм рт. ст. [3], для грубых ЭМП – до 10^{-2} мм рт. ст. [4].

Для поддержания вакуума внутри ЭМП используют специальные газопоглощающие элементы – геттеры. Геттеры хорошо поглощают только активные газы (кислород, азот, водород, окись и двуокись углерода, водяной пар) и практически не поглощают неполярные углеводороды [5]. Более того, большинство производителей не указывает состав летучих компонентов клеев. Таким образом, в настоящее время подбор геттеров и режимов их работы для ЭМП сильно осложнен, что существенным образом затрудняет использование промышленных клеев для создания вакуумных ЭМП.

Газовыделение из клеевых соединений в вакуумных ЭМП

Для снижения газовыделения необходимо уменьшить концентрацию летучих компонентов в приповерхностной зоне клеевого соединения. В про-

мышленности для этих целей широко применяется термообработка (сушка).

Для примера на рис. 1 показано распределение относительной локальной концентрации летучих компонентов c/c_0 от поверхности в глубину клеевого соединения после термообработки. Расчет проведен по формуле [6]:

$$\frac{c}{c_0} = \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \exp \frac{-D(2n+1)^2 \pi^2 t}{L^2} \cdot \cos \frac{(2n+1)\pi x}{H}, \quad (1)$$

где c_0 – начальная концентрация, H – толщина клеевого соединения, $t = 18$ часов – время термообработки, D – коэффициент диффузии для температуры термообработки (для расчетов использовано значение $D = 2 \cdot 10^{-14}$ м²/с, заимствованное из [7]), расстояние x отсчитывается от середины клеевого соединения.

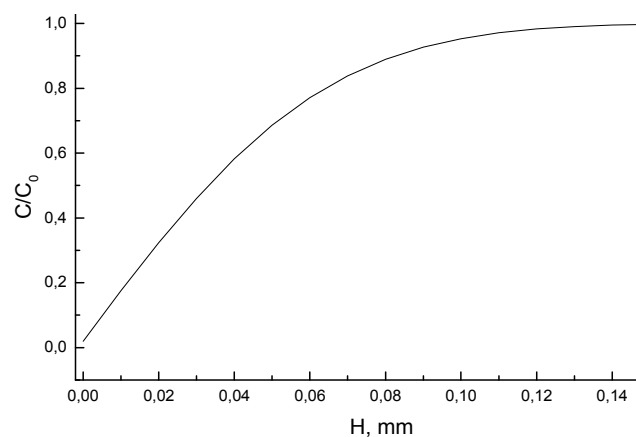


Рис. 1. Распределение относительной локальной концентрации летучих компонентов c/c_0 от поверхности в глубину клеевого соединения H после термообработки

Fig. 1. The distribution of the relative concentration of volatile components c/c_0 from the surface to the depth of adhesive joints H after thermal processing

На рис. 2 приведена рассчитанная для этого случая кинетика газовыделения (удельная скорость газовыделения v , Па·м/с) и количество выделившегося газа m в процессе термообработки [6]. Из рис. 2 видно, что в процессе термообработки относительная скорость газовыделения заметно уменьшается. Од-

нако при слишком высокой температуре клей будет разлагаться, образуя дополнительные компоненты.

Поэтому для каждого клея существует оптимальная температура и продолжительность термообработки.

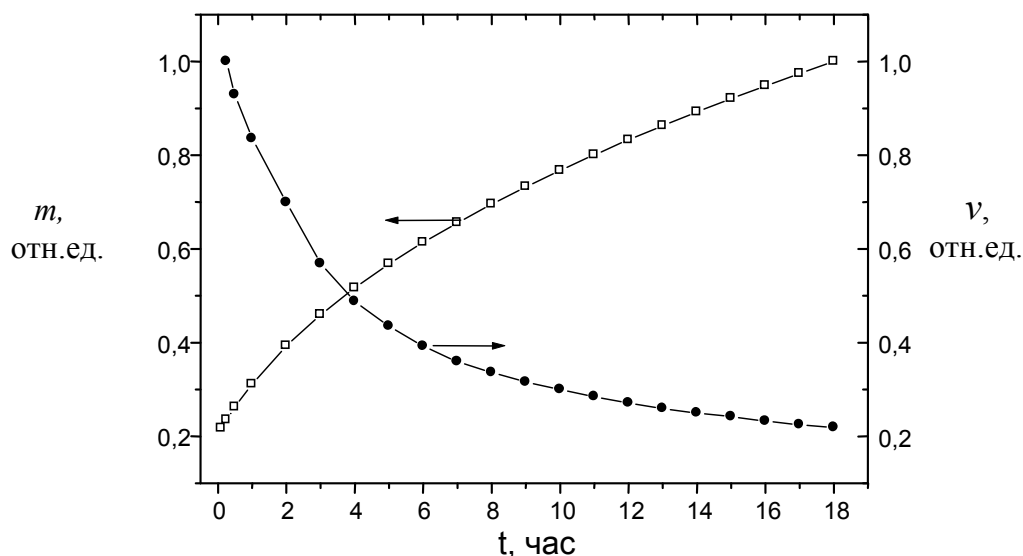


Рис. 2. Относительная скорость газовой выделении v и относительное количество выделившихся газов m в процессе термообработки
Fig. 2. The relative velocity of the outgassing v and the relative amount of gases m evolved during thermal processing

В работе исследование режимов термообработки клеевых соединений проводилось двумя методами: масс-спектральным (масс-спектрометр МИ-1311) и оптико-акустическим (газоанализатор "Мегакон 10К" [8]). Чувствительность оптико-акустического метода выше при анализе углеводородных компонентов, а масс-спектрального – для малоатомных компонентов. Таким образом, использование двух

методов позволит повысить достоверность полученных результатов.

Проведен анализ масс-спектральным методом атмосферы остаточного газа для всех 14 клеев, пригодных для сборки ЭМП, при их последовательном ступенчатом нагреве до температур 80 и 150 °С и последующем охлаждении до 80 и 25 °С в вакууме. Для примера в табл. 1 приведен состав атмосферы остаточного газа для клея H74UNF.

Состав атмосферы остаточного газа для H74UNF при его ступенчатом нагреве в вакууме, мкг

Таблица 1

The composition of the residual gas atmosphere for H74UNF at step heating in a vacuum, mcg

Table 1

Состав остаточного газа	Температура, °С					Всего
	25	80	150	80	25	
H ₂ O	62,3	518	551	50,2	5,3	1 186,8
CO ₂	0,65	5,48	216	5,98	0,38	228,49
CO	0,6	4,2	237	6,9	0,7	249,4
C _x H _y	0,25	0,45	170	13,1	6,1	189,9
CH ₃ OH	0	0	0,002	0	0	0,002
C ₂ H ₅ OH	0,02	0,16	27,6	2,27	0,39	30,44
H ₂	0,16	0,55	2,91	0,49	0,12	4,23
HCl	0	0	0,003	0	0	0,003
H ₂ S	0	0	0,006	0	0	0,006
SO ₂	0	0,009	0	0	0	0,009
O ₂	0,05	0,22	4,57	0,08	0,02	4,94
N ₂	0	0	0,02	0	0	0,02
NO	0	0	0,01	0	0	0,01
NH ₃	0,03	0,71	0,82	0,41	0,17	2,14
HF	0,02	0,14	0,10	0,03	0,02	0,31
Время стадии, мин.	40	60	60	60	40	260

Как следует из полученных экспериментальных данных для клея Н74UNF, водяной пар является основной компонентой остаточного газа в диапазоне температур 25–150 °С (рис. 3). Такая же закономерность наблюдается для всех остальных рассмотренных образцов. При этом количество выделившегося водяного пара лежит в широком диапазоне от 116 мкг (Cerambond 618N) до 7 575 мкг (K-400).

Вторая значительная группа компонентов остаточного газа – углеродосодержащие соединения (CO_2 , CO , углеводороды C_xH_y , спирты CH_3OH , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Кинетика выделения этих соединений отличается от кинетики выделения паров воды: потоки

на всех изотермических стадиях не уменьшаются во времени, а иногда даже увеличиваются. Это свидетельствует о том, что при термообработке возможны процессы разложения органических соединений. Максимальное выделение CO_2 наблюдалось для клеев E207 и Resbond-989F, а CO и C_xH_y – для клея E207, минимальное выделение CO_2 , CO , C_xH_y – для клея P102.

Стоит отметить, что выделение водорода коррелирует с выделением углеводов и, в меньшей степени, с выделением паров воды.

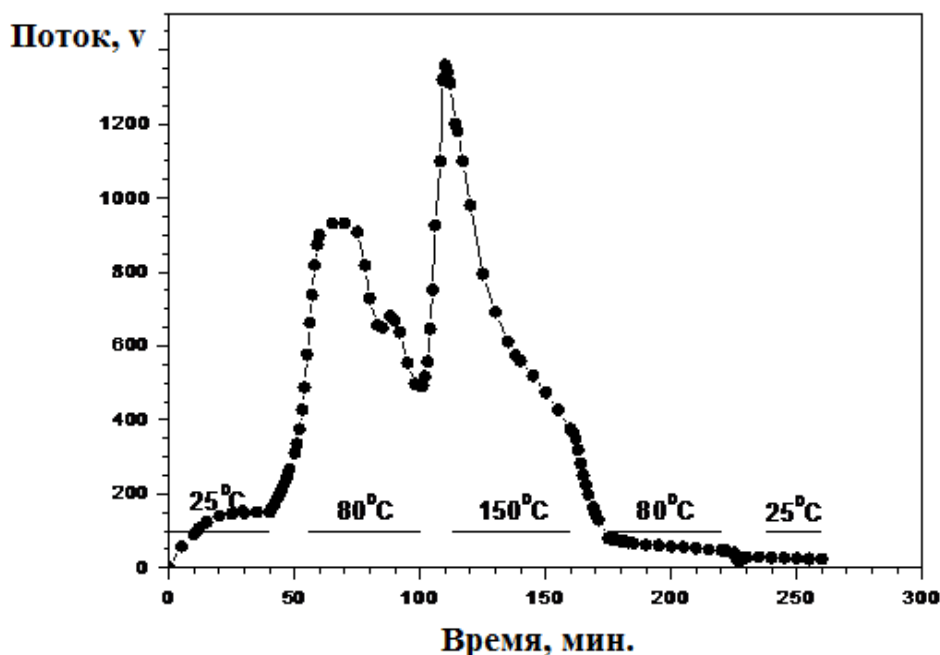


Рис. 3. Кинетика выделения водяного пара при ступенчатом нагреве Н74UNF (масса образца 1,69 г, площадь поверхности 193 cm^2). Масштаб по оси Y: 1 v [18 m/z] = $2,39 \cdot 10^{-4}$ мкг/с
Fig. 3. The kinetics of excretion of water vapor at step heating Н74UNF (the mass of the sample 1.69 g, a surface area of 193 cm^2). The scale on the Y-axis: 1 v [18 m/z] = $2.39 \cdot 10^{-4}$ $\mu\text{g/s}$

В составе остаточного газа клеев E505, Н74UNF, 353ND, E207 были обнаружены различные органические соединения (карбоновые кислоты, бензол, фенол, крезолы и другие продукты разложения фенолформальдегидных смол), в Анатерм-106 – кетоны, метил-метакрилат и диоксан, в Н77S – фталевая кислота и ее ангидрид, салициловая и бензойная кислоты, бензол, фенол, крезолы, в P102 и K-400 – азотсодержащие продукты. Значительное выделение кислорода и азота было только для клея Анатерм-106 в начале прогрева при 150 °С.

Выделение других летучих компонентов (HCl , H_2S , SO_2 , NO , NH_3 , HF) было слабым, кроме SO_2 в Анатерм-106 и HCl в K-4000.

Масс-спектральным методом была определена скорость газовой выделения из 14 клеев для температур 80 и 150 °С. Затем по соотношению скоростей газовой выделения при 150 °С (v_1) и 80 °С (v_2) была рассчита-

на энергия активации E_i процесса газовой выделения для каждого i -го компонента остаточного газа:

$$E_i = 17726.3 \cdot \ln \left(\frac{v_1}{v_2} \right). \quad (2)$$

Далее рассчитана скорость газовой выделения i -го компонента при 25 °С по выражению

$$v_{25} = v_{80} \cdot \exp(-E_i \cdot 6,29 \cdot 10^{-5}), \quad (3)$$

где v_{80} – скорость газовой выделения i -го компонента при 80 °С.

В табл. 2 для всех исследованных клеев приведены измеренные удельные скорости газовой выделения для температур 80 и 150 °С и результаты расчета этой величины для 25 °С.

Таблица 2

Удельная скорость газовой выделения из клеев при 150, 80 °C (масс-спектральный метод)
и 25 °C (расчет), Па·м/с

Table 2

Specific rate of outgassing of the samples at 150, 80°C (mass-spectral method)
and 25°C (analysis), Pa·m/s

t°C	Летучие компоненты												Всего
	H ₂ O	CO ₂	CO	C _x H _y	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ O	H ₂	HCl	H ₂ S	SO ₂	O ₂	HF	
P 102													
150 °C	8,2e-4	1,7e-5	1,5e-5	1,1e-5	0	3,6e-6	6e-6	2e-7	1,5e-8	0	0	7,4e-8	8,7e-4
80 °C	5,8e-5	5,9e-7	9,9e-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6e-5
25 °C	3,1e-6	1,4e-8	4,9e-8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	3,1e-6
H74UNF													
150 °C	1,1e-3	1,8e-4	3e-4	2,3e-4	0	0	5,3e-5	0	0	0	5e-6	1,8e-7	1,9e-3
80 °C	1e-4	4,9e-6	8,7e-6	1,7e-5	0	3,7e-8	8,7e-6	0	5,3e-9	0	3,4e-8	5,4e-8	4e-5
25 °C	6,9e-6	8,9e-8	1,7e-7	1e-6	--	--	1,2e-6	--	--	--	1,3e-10	1,4e-8	9,3e-6
E 207													
150 °C	1,7e-3	1,8e-3	8,7e-4	3,4e-3	8,8e-4	1,2e-5	1,2e-4	1,1e-6	9,6e-8	0	0	1,7e-6	8,7e-3
80 °C	1,4e-4	2,7e-6	0	1,9e-4	5,1e-5	6e-7	1,1e-5	1,7e-7	1,7e-8	0	0	5,6e-8	3,9e-4
25 °C	8,2e-6	2e-9	0	7,8e-6	2,1e-6	2,2e-8	7,7e-7	2e-8	2,3e-0	--	--	1,3e-9	1,9e-5
353ND													
150 °C	1,2e-3	2e-4	1,6e-4	4,9e-5	0	6,6e-6	2e-5	0	0	0	1,9e-7	3,1e-7	1,7e-3
80 °C	1,9e-4	8e-6	1,9e-5	7,7e-6	0	2e-6	3,7e-6	2,3e-8	2,4e-9	0	3,8e-8	4,1e-8	2,3e-4
25 °C	2,3e-5	2,2e-7	1,8e-6	1e-6	--	5,2e-7	5,5e-7	--	--	--	6,4e-9	4,3e-9	2,7e-5
E505													
150 °C	4,6e-4	1,4e-4	1,2e-4	5,1e-5	0	7,6e-6	1,5e-5	4,9e-8	1e-8	0	2,2e-7	1,8e-7	8e-4
80 °C	1,1e-4	4,7e-6	1,5e-5	1e-5	0	2,8e-7	2,6e-6	1,5e-8	2,7e-9	0	7,2e-8	4,6e-8	1,5e-4
25 °C	2,3e-5	1,1e-7	1,5e-6	1,6e-6	--	7,2e-9	3,6e-7	4,2e-9	6e-10	--	2e-8	1e-8	2,7e-5
H77S													
150 °C	1e-3	7,7e-4	1,6e-5	3,5e-4	0	5e-5	6,3e-5	6,6e-7	2,3e-8	0	1,8e-6	1,5e-7	2,3e-3
80 °C	2,2e-5	5,9e-6	0	1,8e-4	0	1,3e-5	3,2e-5	0	3,6e-9	0	0	1,2e-7	2,6e-4
25 °C	3e-7	2,6e-8	--	8,7e-5	--	3e-6	1,6e-5	--	4,7e-10	--	--	9,8e-8	1,1e-4
K-400													
150 °C	5,9e-3	5,2e-6	0	2e-3	6,8e-4	0	1,1e-4	6,2e-5	5,1e-7	0	0	0	8,7e-3
80 °C	1e-3	0	0	3,3e-4	3e-5	3,9e-7	1,5e-5	1,8e-5	0	0	0	0	1,4e-3
25 °C	1,4e-4	--	--	4,6e-5	8,8e-7	--	1,7e-6	4,5e-6	--	--	--	--	1,9e-4
OC-52													
150 °C	5,4e-4	4,3e-6	1,8e-5	2,3e-5	1,5e-6	3,1e-7	1,2e-5	0	0	0	0	1,1e-7	6e-4
80 °C	3,4e-5	3,1e-7	2e-6	2,4e-6	1,2e-7	4,7e-8	3,9e-6	3,4e-8	0	0	0	0	4,2e-5
25 °C	1,5e-6	1,6e-8	1,7e-7	1,9e-7	6,9e-9	5,7e-9	1,1e-6	--	--	--	--	--	3e-6
OC-92													
150°C	1,6e-3	2,5e-5	8,7e-6	5,6e-6	0	1,1e-7	9,3e-6	1,6e-8	1,8e-8	0	9e-7	1,4e-7	1,7e-3
80°C	9,4e-5	2,2e-7	1,4e-6	1,7e-6	3,9e-8	1,3e-8	2,6e-6	1,1e-8	0	0	3,4e-8	3,6e-8	1e-4
25°C	3,9e-6	1,2e-9	1,7e-7	4,5e-7	--	1,2e-9	6,5e-7	8e-9	--	--	8,7e-10	7,7e-9	5,2e-6
Resbond 989 F													
150 °C	2,5e-2	1,2e-3	0	2,3e-5	0	7,8e-7	1,7e-4	2,2e-6	1,9e-7	1,2e-7	0	2,2e-6	2,6e-2
80 °C	4,5e-4	9,4e-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,5e-4
25 °C	5,2e-6	3,2e-10	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	5,2e-6
Ceramabond-618N													
150 °C	8,1e-5	5,1e-7	4,7e-6	3,9e-5	0	2,3e-6	3,1e-6	0	3,2e-9	0	1,2e-7	5,5e-8	1,3e-4
80 °C	2,8e-6	5e-8	0	1,6e-5	0	1,1e-6	5,5e-7	0	0	0	0	0	2,1e-5
25 °C	6,8e-8	9,4e-9	--	5,8e-6	--	4,6e-7	8e-8	--	--	--	--	--	6,5e-6
Анатерм-106													
150 °C	1,2e-3	6,6e-4	1,4e-4	5,7e-4	1,4e-4	3,2e-5	2,3e-4	0	3,1e-7	2,8e-5	8,3e-5	1,1e-6	3,1e-3
80 °C	3e-5	1,3e-5	0	9,5e-5	2,2e-5	3e-7	2,9e-5	0	0	5,4e-7	0	7,6e-8	1,9e-4
25 °C	5,2e-7	1,6e-7	--	1,3e-5	2,6e-6	1,6e-9	2,9e-6	--	--	6,6e-9	--	3,9e-9	1,9e-5
Resbond-940LE													
150 °C	3,3e-3	1,3e-4	2,2e-5	6,8e-6	0	5,9e-9	2e-5	2,5e-7	7,5e-8	7,3e-8	1,1e-6	2,4e-7	3,5e-3
80 °C	3,4e-4	1,8e-6	1,2e-6	3,2e-7	0	0	3,7e-6	1,1e-8	1,6e-9	4,3e-9	1,5e-7	2,7e-8	3,4e-4
25 °C	2,6e-5	1,4e-8	4,4e-8	2,5e-8	--	--	5,7e7	3,1e-10	2,2e-11	1,8e-10	1,8e-8	2,4e-9	2,7e-5
BK-21H													
150 °C	6,5e-3	7,9e-6	3,2e-5	1,8e-5	0	4,2e-8	4,6e-5	2,5e-6	3,8e-8	5,1e-9	5,2e-6	1,3e-6	6,6e-3
80 °C	8,6e-4	1e-6	1,6e-6	1,9e-6	0	0	1,4e-6	7,8e-8	2,1e-9	0	1,9e-7	5,4e-8	8,7e-4
25 °C	9e-5	1,1e-7	5,3e-8	1,6e-7	--	--	2,9e-8	1,6e-9	8,5e-11	--	4,8e-9	1,6e-9	9,1e-5



Использование оптико-акустического метода для исследования атмосферы остаточного газа позволило получить дополнительную информацию по составу и количеству выделяющихся углеводов (табл. 3).

Таблица 3

Удельная скорость газовой выделения из клеев при 150, 80 °C (оптико-акустический метод) и 25 °C (расчет), Па·м/с

Table 3

Specific rate of outgassing of the samples at 150, 80°C (opto-acoustic method) and 25°C (analysis), Pa·m/s

Температура, °C	Летучие компоненты						
	CO ₂	CO	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈
P102							
150 °C	1,5e-5	1,2e-5	0	1e-6	2e-7	2e-7	0
80 °C	5e-7	7e-7	0	0	0	0	0
25 °C	1,1e-8	2,9e-8	-	-	-	-	-
H74UNF							
150 °C	1,4e-4	2e-4	0	0	2e-5	0	0
80 °C	4e-6	5,5e-6	0	0	0	0	0
25 °C	7,6e-8	1e-7	-	-	-	-	-
E207							
150 °C	1e-3	6e-4	7e-4	1e-5	1e-3	1e-3	1e-4
80 °C	2e-6	0	3e-5	4,5e-7	8e-5	5e-5	1e-5
25 °C	1,2e-9	-	9e-6	1,4e-8	4,8e-6	1,8e-6	8e-7
353ND							
150°C	1e-4	1e-4	0	4e-6	2e-5	1e-5	1e-6
80°C	4e-6	1,5e-5	0	1e-6	3e-6	2e-6	2e-7
25°C	1,1e-7	1,8e-6	-	2,1e-7	3,6e-7	3,3e-7	3,3e-8
E505							
150 °C	1,5e-4	1,2e-4	0	6,5e-6	5e-6	1e-6	0
80 °C	5,1e-6	2,4e-5	0	2,5e-7	1e-6	2e-7	0
25 °C	1,17e-7	2,25e-6	-	6,6e-9	1,7e-7	3,3e-8	-
H77S							
150 °C	5e-4	1,2e-5	0	3,6e-5	2,2e-4	1e-4	1,2e-6
80 °C	2,6e-6	8e-7	0	1e-5	9e-5	2e-5	8e-8
25 °C	7,4e-9	3,9e-8	-	2,4e-6	3,3e-5	3,3e-6	4e-9
K-400							
150 °C	4,5e-6	1e-8	8,2e-4	5,6e-6	6,3e-4	5e-4	4,1e-4
80 °C	3e-8	0	3,2e-5	3e-7	4,8e-5	3,7e-5	3e-5
25 °C	1e-10	-	8,6e-7	1,1e-8	2,7e-6	2e-6	5,4e-7
OC-52							
150 °C	3,8e-6	1,6e-5	1,1e-6	3e-7	1,6e-5	1e-5	1e-6
80 °C	3e-7	1e-6	1e-7	4,1e-8	1,2e-6	9e-7	7,2e-7
25 °C	1,8e-8	4,6e-8	6,9e-9	4,4e-9	6,7e-8	6,1e-8	3,8e-8
OC-92							
150 °C	1,9e-5	6,1e-6	5,2e-7	9e-8	3,1e-6	2,2e-6	1e-6
80 °C	1,8e-7	7,5e-7	3e-8	1e-8	6,1e-7	4,1e-7	2e-7
25 °C	1e-9	7,2e-8	1,2e-9	8,7e-10	1e-7	6,3e-8	3,3e-8
Resbond-989F							
150 °C	1e-3	1e-8	0	1e-8	3e-5	1e-8	0
80 °C	1,2e-6	0	0	0	1e-6	0	0
25 °C	6,6e-10	-	-	-	2,3e-8	-	-
Cerambond-618N							
150 °C	3,1e-7	5e-6	0	1,7e-6	4,1e-5	1,2e-5	0
80 °C	2,2e-8	3,2e-7	0	9e-8	8,7e-6	9,1e-8	0
25 °C	1,15e-8	1,5e-8	-	3,4e-9	1,54e-6	5,1e-9	-
Анатерм-106							
150 °C	7,1e-4	1,3e-4	3e-4	1,7e-5	4,2e-4	2,1e-4	1e-8
80 °C	3,1e-5	1e-5	1,9e-5	1e-7	6,1e-5	3,4e-5	0
25 °C	9,4e-7	5,7e-7	8,8e-7	3,3e-10	7,1e-6	4,5e-6	-
Resbond-940LE							
150 °C	2,2e-4	2,1e-5	1e-8	5e-9	5,4e-6	2,1e-6	1,3e-7
80 °C	4,7e-6	1,8e-6	0	0	2,7e-7	1e-7	1e-8
25 °C	6,4e-8	1,2e-7	-	-	9,6e-9	3,3e-9	5,7e-10
БК-21Н							
150 °C	9,1e-6	3,5e-5	0	0	1,9e-6	5e-6	4,1e-6
80 °C	1,2e-6	1,7e-6	0	0	2,3e-7	6,7e-7	5e-7
25 °C	1,25e-7	5,8e-8	-	-	2,2e-8	7,1e-8	4,8e-8

Сравнение результатов, полученных оптико-акустическим и масс-спектральным методами, по CO, CO₂, CH₃OH и C₂H₅OH показывает их достаточно хорошее согласие. В табл. 4 представлены обобщенные данные по кинетике газовой выделения для всех исследованных образцов клеев для $T = 25^{\circ}\text{C}$.

Предельную скорость газовой выделения v оценить по выражению:

$$v = \frac{PV}{tS}, \quad (4)$$

где S – площадь открытой поверхности клеевого соединения, V – внутренний объем ЭМП, t – время работы ЭМП, p – требуемое давление. Расчет для прибора с $V = 0,1$ л, $S = 1$ мм² для $p = 10^{-6}$ мм рт.ст. в конце срока службы $t = 15$ лет показывает, что удельная скорость газовой выделения не должна превышать $2,8 \cdot 10^{-11}$ Па·м/с.

Таким образом, все исследованные клеи по общему газовой выделению можно разделить на три группы. В первую группу входят клеи с очень малым газовой выделением: OC-52, P102, OC-92, Resbond-989F, Ceramabond-618N и H74UNF. Во вторую группу входят клеи с удельным газовой выделением на порядок хуже: Анатерм-106, E207, 353ND, E505, Resbond-940LE, BK-21H и H77S. К третьей можно отнести клеи K-400 с очень большим газовой выделением.

Подбор параметров для эффективного снижения газовой выделения из клеевых соединений

Для повышения эффективности снижения газовой выделения в результате термообработки были проведены дополнительные эксперименты с двумя клеями H74UNF и Resbond-989F с малым газовой выделением и достаточно широким распространением.

Для исследований было подготовлено по 4 образца для каждого исследуемого клея.

Таблица 4

Удельная скорость газовой выделения v из клеев при 25°C , Па·м/с и энергия активации E процесса газовой выделения, кДж/моль

Table 4

Specific rate of outgassing v of the samples at 25°C , Pa·m/s and the activation energy E of the process outgassing (kJ/mol)

Клей	Пара метр	Легучая примесь															Всего
		H ₂ O	CO ₂	CO	HF	CH ₃ O	C ₂ H ₅ O	H ₂	HCl	H ₂ S	SO ₂	O ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	
P102	E	46,8	60,2	49,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47,5
	v	3,1e-6	1,2e-8	3,9e-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,1e-6
H74UNF	E	42,5	63,3	63,4	21,3	-	-	31,9	-	-	-	88,7	-	-	-	45,5	68,1
	v	6,9e-6	8,3e-8	1,3e-7	1,4e-8	-	-	1,2e-6	-	-	-	1,3e-10	-	-	-	1e-6	8,3e-6
E207	E	44,4	112,4	-	59,9	53,1	53,9	42,3	33,4	31,1	-	-	44,8	53,1	40,8	51	54,9
	v	8,2e-6	1,6e-9	-	1,3e-9	5,6e-6	1,8e-8	7,7e-7	2e-8	2,3e-9	-	-	4,8e-6	1,8e-6	8e-7	4e-7	2,2e-5
353ND	E	33,5	57	35,8	35,7	-	22,9	30,1	-	-	-	28,5	33,6	28,5	28,5	32,5	35,4
	v	2,3e-5	1,7e-7	1,8e-6	4,3e-9	-	3,7e-7	5,5e-7	-	-	-	6,4e-9	3,6e-7	3,3e-7	3,3e-8	2,8e-7	2,6e-5
E505	E	25	59,7	37,3	23,9	-	58,1	31,5	20,6	24	-	19,9	28,5	28,5	-	28,9	30,1
	v	2,33e-5	1,12e-7	1,5e-6	1,02e-8	-	7,17e-9	3,58e-7	4,17e-9	6e-10	-	2,04e-8	1,7e-7	3,3e-8	-	1,62e-6	2,7e-5
H77S	E	68,4	89,8	48	3,4	-	17,2	11,7	-	32,5	-	-	15,8	28,5	48	11,6	38,8
	v	3e-7	1,7e-8	3,9e-8	9,8e-8	-	2,7e-6	1,6e-5	-	4,7e-10	-	-	3,3e-5	3,3e-6	4e-0	5,1e-5	1,1e-4
K-400	E	31,3	89	-	-	56,6	51,9	35,2	22	-	-	-	45,6	46,2	46,4	31,6	32,4
	v	1,4e-4	1e-10	-	-	8,7e-7	1,1e-8	1,7e-6	4,5e-6	-	-	-	2,7e-6	2e-6	5,4e-7	4,1e-5	1,9e-4
OC-52	E	49,1	45,8	44,3	-	43,9	34,5	24	-	-	-	-	45,9	42,7	46,6	40,4	46,9
	v	1,5e-6	1,7e-8	1,1e-7	-	6,9e-9	5e-9	1,1e-6	-	-	-	-	6,7e-8	6,1e-8	3,8e-8	1,9e-8	2,7e-6
OC-92	E	50,7	83,1	35,2	25,7	50,6	38,4	22,2	6,3	-	-	58,2	28,8	29,8	28,5	21	50,1
	v	3,9e-6	1,1e-9	1,2e-7	7,7e-9	1,2e-9	1,1e-9	6,5e-7	8e-9	-	-	8,7e-10	1e-7	6,3e-8	3,3e-8	2,6e-7	5,1e-6
Resbond 989F	E	71	123,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60,3	-	-	-	72
	v	5,2e-6	4,9e-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,3e-8	-	-	-	5,2e-6
Ceramabond 618N	E	59,4	44,1	48,7	-	-	32,9	30,6	-	-	-	-	27,5	45,7	-	15,9	32,5
	v	6,8e-8	9,4e-9	1,5e-8	-	-	2,3e-7	8e-8	-	-	-	-	1,5e-6	5e-9	-	4,3e-6	6,2e-6
Анатерм 106	E	64,9	62,8	45,5	47,3	41,3	87	36,6	-	-	70	-	34,2	32,3	-	31,7	49,3
	v	5,2e-7	5,5e-7	5,7e-7	3,9e-9	1,7e-6	8e-10	2,9e-6	-	-	6,6e-9	-	7,1e-6	4,5e-6	-	1,3e-6	1,9e-5
Resbond 940LE	E	40,4	72,3	47,9	38,8	-	-	29,7	56	68,1	50,3	34,1	53,1	54	45,5	54,2	41
	v	2,6e-5	3,9e-8	8,2e-8	2,4e-9	-	-	5,7e-7	3,1e-10	2,2e-11	1,8e-10	1,8e-8	9,6e-9	3,3e-9	5,7e-10	1,1e-8	2,7e-5
BK-21H	E	35,8	36	53,7	56,1	-	-	61,8	61,9	51,3	-	58,5	37,4	35,6	37,3	39,3	36
	v	9e-5	1,2e-7	5,5e-8	1,6e-9	-	-	2,9e-8	1,6e-9	8,5e-11	-	4,8e-9	2,2e-8	7,1e-8	4,8e-8	2e-8	9,1e-5

В табл. 5 представлены режимы термообработки образцов.

Таблица 5

Режимы термообработки образцов

Table 5

Regimes of thermal processing of samples

Номер образца	№1	№2	№3	№4
Режим термообработки	вакуум (10 ⁻³ мм рт.ст.)	воздух	вакуум (10 ⁻³ мм рт.ст.)	вакуум (10 ⁻³ мм рт.ст.)
	6 суток	6 суток	1 суток	6 суток
	150 °C	150 °C	150 °C	200 °C

После завершения процедуры термообработки исследуемого образца определялась удельная скорость газовыделения масс-спектральным методом. Для примера в табл. 6 приведены результаты этих измерений для клея H74UNF.

Таблица 6

Удельная скорость газовыделения при разных режимах термообработки для клея H74UNF, Па·м/с

Table 6

Specific rate of outgassing under different regimes of thermal processing for H74UNF, Pa·m/s

Темпе- ратура	Летучая примесь								Всего	
	H ₂ O	CO ₂	CO	C _x H _y	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	H ₂	HCl		NH ₃
Режим обезгаживания: 150 °С, вакуум, 6 суток										
150 °С	2,2e-5	1,6e-6	3,3e-6	4,9e-6	0	1,4e-7	4e-7	4,4e-9	0	3,2e-5
110 °С	2,9e-6	2,4e-8	0	9,7e-8	0	4,5e-8	0	2,9e-9	0	3,1e-6
25 °С	9e-11	1,4e-13	-	1,7e-10	-	3,7e-11	-	1,1e-11	-	3,3e-10
Режим обезгаживания: 150 °С, воздух, 6 суток										
150 °С	2,4e-4	7,6e-5	6,3e-5	3,8e-5	1,8e-7	5,1e-7	5,7e-6	2,6e-8	0	4,3e-4
110 °С	9,6e-6	7,7e-7	2,2e-7	9,5e-7	1,6e-8	0	1,8e-7	5,8e-9	0	1,2e-5
25 °С	1e-9	6,9e-12	5,5e-11	1,3e-9	2e-10	-	1,8e-10	6,8e-11	-	3e-9
Режим обезгаживания: 150 °С, вакуум, 1 сутки										
150 °С	8,8e-5	3,1e-6	1,6e-5	2,1e-5	0	7e-7	2,9e-6	3,4e-8	1,1e-6	1,3e-4
110 °С	7,8e-6	2,3e-7	5e-7	8,9e-7	0	5,7e-8	3,9e-7	7,3e-9	1,5e-7	1e-5
25 °С	3,7e-10	2,9e-13	1,4e-11	7,3e-11	-	1,9e-10	9,1e-11	8,7e-11	3,8e-10	1,9e-9
Режим обезгаживания: 200 °С, вакуум, 6 суток										
150 °С	5,8e-6	7,3e-7	7,5e-7	8,4e-7	6,8e-8	1,2e-8	7,9e-8	4,7e-9	0	8,2e-6
110 °С	4,1e-7	5,4e-9	0	9,7e-8	0	0	7,8e-8	0	0	1,8e-7
25 °С	2,4e-11	6,6e-14	-	3e-11	-	-	2,5e-12	-	-	1,5e-10

Итак, при стандартной сушке клея H74UNF скорость газовыделения составляет 8,3·10⁻⁶ Па·м/с (табл. 4), после термообработки этого клея на воздухе в течение 6 суток при 150 °C – 3·10⁻⁹ Па·м/с (табл. 6), а после термообработки в вакууме при тех же условиях – 3,3·10⁻¹⁰ Па·м/с (табл. 6). Аналогичная ситуация имеет место и в отношении Resbond-989F.

Следует отметить, что для снижения скорости газовыделения более эффективно повышение температуры термообработки, чем увеличение ее продолжительности. Из табл. 6 видно, что скорость выделения C_xH_y уменьшилась в 4,2 раза при увеличении времени обезгаживания с 1 до 6 суток. А увеличение температуры термообработки до 200 °C привело к уменьшению скорости обезгаживания за то же время в 24,6 раза. При повышении температуры термообработки следует учитывать длительность термической устойчивости клея. Например, для Resbond 989F повышение температуры и увеличение длительности процесса термообработки не привело к

существенному снижению выделения углеводородов. Возможно, это связано с термическим разложением C_xH_y и их дальнейшей диффузией. Этот процесс и ограничивает минимальную скорость газовыделения.

Таким образом, из приведенных данных следует, что термообработка в вакууме гораздо эффективнее, чем в воздухе. Полученный результат, вероятнее всего, объясняется микропористой структурой поверхности отвержденного клея, что облегчает процесс обратнотой диффузии молекул газа в твердое тело.

Для расчета кинетики газовыделения в зависимости от продолжительности и температуры термообработки представим слой клея как тонкую пластину с односторонней диффузией. Процесс такой диффузии, согласно [9], можно описать выражением

$$\frac{\partial c}{\partial x} \Big|_{x=l} = - \frac{2c_0}{l} \sum_{n=0}^{\infty} \exp \left[- \frac{D(2n+1)^2 \pi^2 t}{4l^2} \right], \quad (5)$$

где l – толщина клеевого слоя, c_0 и c – начальная и текущая концентрации (или количество) диффундирующего компонента, $D = D_0 \exp\left(\frac{-E}{RT}\right)$ – коэффициент диффузии. Поток газа с поверхности площадью клея S , согласно первому закону Фика и с учетом (5), равен:

$$J|_{x=l} = -\frac{D}{l} \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{2c_0 D}{l^2} \sum_{n=0}^{\infty} \exp\left[-\frac{D(2n+1)^2 \pi^2 t}{4l^2}\right]. \quad (6)$$

Таким образом, с учетом (5), выражение для расчета скорости газовой выделения имеет вид:

$$v = \frac{J|_{x=l}}{S} = \frac{2c_0 D}{l^2 S} \sum_{n=0}^{\infty} \exp\left[-\frac{D(2n+1)^2 \pi^2 t}{4l^2}\right]. \quad (7)$$

$$\begin{aligned} v &= \frac{2c_0 D_{25}}{l^2 S} \sum_{n=0}^{\infty} \exp\left[-\frac{D_{25}(2n+1)^2 \pi^2 \left(\frac{D_T}{D_{25}} t_T + t\right)}{4l^2}\right] = \\ &= \frac{2c_0 D_0 \exp\left(-\frac{E}{298 \cdot R}\right)}{l^2 S} \sum_{n=0}^{\infty} \exp\left[-\frac{D_0 \exp\left(-\frac{E}{298 \cdot R}\right) (2n+1)^2 \pi^2 \left(t_T \exp\left(\frac{E}{298 \cdot R} - \frac{E}{RT}\right) + t\right)}{4l^2}\right]. \end{aligned} \quad (9)$$

Из выражения (9) видно, что для обоснованного выбора режима термообработки необходимо знать для каждого компонента остаточного газа значения D_0 и E .

Далее на примере клея Н74UNF определены значения D_0 и E для углеводородов C_xH_y из полученных экспериментальных данных. Отношение скоростей газовой выделения C_xH_y после термообработки в вакууме при 150 °С в течение 1 суток (v_1) и 6 суток (v_2) будет:

$$\begin{aligned} \frac{v_2}{v_1} &= \frac{\sum_{n=0}^{10} \exp\left[-\frac{D_{150}(2n+1)^2 \pi^2 \cdot 6 \cdot 86400}{4l^2}\right]}{\sum_{n=0}^{10} \exp\left[-\frac{D_{150}(2n+1)^2 \pi^2 \cdot 86400}{4l^2}\right]} = \\ &= \frac{\sum_{n=0}^{10} \exp\left[-6a(2n+1)^2\right]}{\sum_{n=0}^{10} \exp\left[-a(2n+1)^2\right]}. \end{aligned} \quad (10)$$

Для дальнейших расчетов был введен параметр $a = \frac{D_{150} \pi^2 \cdot 86400}{4l^2}$. На рис. 4 представлена зависимость

Из выражения (7) следует, что коэффициент диффузии D определяет начальную скорость газовой выделения, произведение (Dt) – уменьшение скорости газовой выделения со временем. Таким образом, одно и то же требуемое значение скорости газовой выделения может быть получено как выдержкой в вакууме при комнатной температуре в течение времени t , так и после термообработки при температуре T в течение времени t_T :

$$t = \frac{D_T t_T}{D_{25}}, \quad (8)$$

D_T и D_{25} – коэффициенты диффузии для температуры термообработки T и 25 °С соответственно. Следовательно, кинетика газовой выделения при 25 °С после завершения термообработки определяется:

$\frac{v_2}{v_1} = F(a)$. При выполнении расчетов бесконечные ряды ограничены были первыми 10-ю членами.

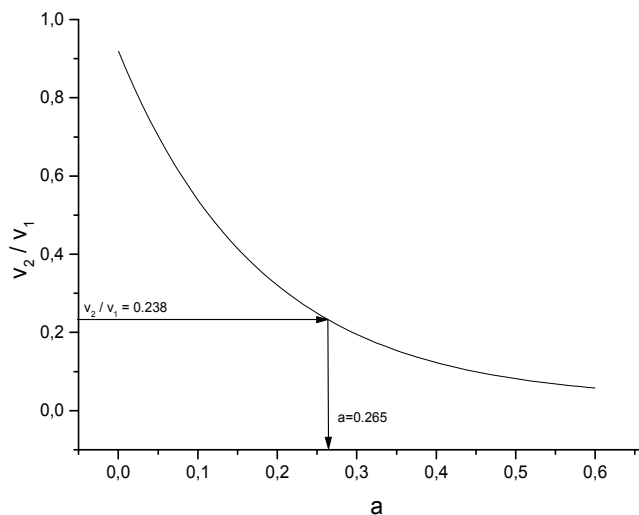


Рис. 4. График зависимости $\frac{v_2}{v_1} = F(a)$

Fig. 4. The graph of $\frac{v_2}{v_1} = F(a)$

Из эксперимента известно, что $v_2/v_1 = 0,238$ (см. табл. 6). Значение параметра определяется из графи-



ка (рис. 4): $\alpha=0,265$. С учетом того, что толщина клеевого слоя $l = 0,04$ мм, значение параметра D_{150} будет равно $2 \cdot 10^{-15}$ м²/с. Энергия активации E для C_xH_y равна 45,5 кДж/моль (табл. 4). Таким образом, выражение для расчета коэффициента диффузии углеводородов C_xH_y в клее H74UNF будет иметь вид:

$$D = 8,4 \cdot 10^{-10} \exp\left(\frac{-45500}{RT}\right).$$

Аналогичным образом рассчитываются коэффициенты диффузии любых других летучих компонентов в клеевых соединениях.

Заключение

В работе показано, что эффективным способом снижения газовыделения из клеевых соединений вакуумных ЭМП является их термообработка (сушка).

В работе определен состав атмосферы остаточного газа в ЭМП для 14 клеев, пригодных для сборки ЭМП. Показано, что в диапазоне температур 25–150 °С основной компонентой остаточного газа для всех клеев является водяной пар; вторую значительную группу представляют собой углеводородо-державшие соединения; выделение других компонентов относительно слабое.

В работе определены скорости газовыделения различных компонентов из клеев и оценена предельная скорость газовыделения, обеспечивающая нормальный режим работы ЭМП в течение его срока службы, что позволило разделить виды клея на три группы: с малым газовыделением (OC-52, P102, OC-92, Resbond-989F, Ceramabond-618N и H74UNF), со средним газовыделением (Анатерм-106, E207, 353ND, E505, Resbond-940LE, BK-21H и H77S), с большим газовыделением (K-400).

Разработана модель кинетики газовыделения на примере клеев Resbond 989F и H74UNF, позволяющая обоснованно подбирать температуру и продолжительность процесса термообработки, обеспечивающие заданную скорость газовыделения и определять составы атмосферы остаточного газа в ЭМП.

Показано, что для снижения скорости газовыделения более эффективно повышение температуры термообработки, чем увеличение ее продолжительности, а термообработка в вакууме гораздо эффективнее, чем в воздухе.

Список литературы

1. Гарелина С.А., Гусев А.Л., Захарян Р.А., Казарян М.А., Феофанов И.Н. Вибрационная и ударная прочность клеевых соединений // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAE). 2013. № 11. С. 81–88.
2. Гарелина С.А., Гусев А.Л., Захарян Р.А., Казарян М.А., Феофанов И.Н. К вопросу о пригодности промышленных клеев различных типов для сборки электронно-механических приборов // Междуна-

ный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAE). 2014. № 21 (161). С. 80–85.

3. Матвеев В.А., Лунин Б.С., Басараб М.А., Захарян Р.А. Газопоглотители для вибрационных гироскопов // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. Приборостроение. 2013. №2. С. 90–99.

4. Кучерков С.Г. Определение необходимой степени вакуумирования рабочей полости осциллятора микромеханического гироскопа // Гироскопия и навигация. 2002. №1. С. 52–56.

5. Саксаганский Г.Л., Уколов С.И. Вакуумно-технологические характеристики нераспыляемых геттеров и средства откачки на их основе // Криогенное и вакуумное машиностроение. Сер. ХМ-6. ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1991.

6. Захарян Р.А. Клеевые соединения в электронных и электронно-механических приборах: Дис. канд. техн. наук. Москва. 2014. 173 с.

7. Головастов Б.С. Характер и измерение потерь веса полимерных материалов в вакуум // Пластические массы. 1971. №10. С. 33–35.

8. Гарелина С.А., Гусев А.Л., Захарян Р.А., Казарян М.А., Феофанов И.Н. Оценка перспективности применения нового газоанализатора «МЕГАКОН 10К» в МЧС России // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAE). 2014. № 22 (162). С. 46–51.

9. Crank J. The mathematics of diffusion. Oxford: Clarendon Press, 1975.

References

1. Garelina S.A., Gusev A.L., Zaharyan R.A., Kazaryan M.A., Feofanov I.N. Vibracionnaâ i udarnaâ pročnost' kleevyh soedinenij. *International Scientific Journal "Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ"* (ISJAE), 2013, no. 11, pp. 81–88 [in Russ.].
2. Garelina S.A., Gusev A.L., Zaharyan R.A., Kazaryan M.A., Feofanov I.N. K voprosu o prigodnosti promyšlennyh kleev različnyh tipov dlâ sborki èlektronno-mehaničeskikh priborov. *International Scientific Journal "Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ"* (ISJAE), 2014, no. 21 (161), pp. 80–85 [in Russ.].
3. Matveev V.A., Lunin B.S., Basarab M.A., Zaharyan R.A. Gazopoglotiteli dlâ vibracionnyh giroskopov. *Vestnik N.È.Baumana MGTU. Priborostroenie*, 2013, no. 2, pp. 90–99 [in Russ.].
4. Kucherkov S.G. Opredelenie neobhodimoy stepeni vakuumirovaniâ rabočej polosti oscillâtora mikromehaničeskogo giroskopa. *Giroskopiâ i navigaciâ*, 2002, no. 1, pp. 52–56 [in Russ.].
5. Saksaganskij G.L., Ukolov S.I. Vakuumno-tehnologičeskie harakteristiki neraspylaemyh getterov i sredstva otkački na ih osnove. *Krio-gennoe i vakuumnoe mašinstroenie. HM-6, CINTIHMNEFTE-MASH*, 1991 [in Russ.].
6. Zaharyan R.A. Kleevye soedineniâ v èlektronnyh i èlektronno-mehaničeskikh priborah: Dis. kand. tehn. nauk. Moskva. 2014. 173 s [in Russ.].

7. Golovastov B.S. Harakter i izmerenie poter' vesa polimernyh mate-rialov v vakuum. *Plastičeskie massy*, 1971, no. 10, pp. 33–35 [in Russ.].

8. Garelina S.A., Gusev A.L., Zaharyan R.A., Kazaryan M.A., Feofanov I.N. Ocenka perspektivnosti primeneniâ novogo gazoanalizatora «MEGAKON 10K» v

MČS Rossii. *International Scientific Journal "Alternativnaâ energetika i èkologiâ" (ISJAE)*, 2014, no. 22 (162), pp. 46–51 [in Russ.].

9. Crank J. The mathematics of diffusion. Oxford: Clarendon Press, 1975 [in Russ.].

Транслитерация по ISO 9:1995



EC **European Coatings**
SHOW 2015
PLUS ADHESIVES, SEALANTS, CONSTRUCTION CHEMICALS

21 - 23 April 2015 - Nuremberg, Germany



European Coatings Show 2015 – 13-й Международный конгресс и специализированная выставка покрытий, уплотняющих, связующих материалов, строительных химикатов, клеев и герметиков

Ведущая международная выставка European Coatings Show существует уже почти четверть века и является ведущей международной выставкой в сфере высококачественных лакокрасочных материалов и покрытий, герметиков, строительных материалов и клеев.

Весь мир лакокраски собирается на European Coatings Show – 64% экспонентов и 63% посетителей приезжают в Нюрнберг из-за рубежа. В 2014 г. крупнейшие экспозиции, после Германии, представили Китай, Нидерланды, Италия и Великобритания. Страны с наибольшим количеством посетителей: Германия, Италия, Нидерланды, Швейцария и Турция.

Выставка European Coatings Show 2015 пройдет в выставочном центре Нюрнберга 21–23 апреля 2015 года. Конгресс European Coatings традиционно начнется на день раньше и будет проходить 2 дня.

Тематические разделы выставки:

- краски, лаки, материалы для покрытий;
- сырье для покрытий (пигменты, наполнители, растворители, присадки);
- клеящее сырье (полимеры, мономеры, канифоли, наполнители, растворители, масла и пр.);
- составляющие для строительных химикатов (сырье, добавки и добавочные смеси);
- материалы для уплотнений;
- лабораторное и производственное оборудование (смесители, фильтры, насосы, наполняющие системы и пр.);
- измеряющее и тестирующее оборудование (химические, оптические и механические свойства, стабильность);
- применение (установки и оборудование / системы спрея);
- защита окружающей среды, технологии безопасности и др.

Самозатягивающаяся под солнечным светом автомобильная краска, которой не страшны небольшие царапины, покрытие для супертанкеров, которое препятствует росту колоний моллюсков на подводной части и экономит огромное количество топлива, или такие разработки в области медицины и гигиены, как поверхность, которая обладает антибактериальным эффектом без нанесения дополнительных дезинфектантов, – все это всего лишь несколько позиций обширного перечня предложений современной индустрии покрытий.

www.european-coatings-show.com