

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ

Материалы V Республиканской
научной конференции
студентов, магистрантов и аспирантов

(Гомель, 21 апреля 2016 года)

В трёх частях

Часть 1

Электронное издание



Co-funded by the
Tempus Programme
of the European Union

Гомель
ГГУ имени Ф. Скорины
2016

УДК 530

Актуальные вопросы физики и техники [Электронный ресурс] : V Республиканская научная конференция студентов и аспирантов (Гомель, 21 апреля 2016 г.) : материалы : в 3 ч. Ч. 1. – Электрон. дан. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: IBM-совместимый компьютер; Windows XP; ОЗУ 512 Мб; CD-ROM 8-х и выше. – Загл. с этикетки диска.

В материалах республиканской конференции рассматриваются актуальные общетеоретические и прикладные проблемы физики и техники. Издание состоит из трёх частей. В первой части представлены исследования новых материалов и технологий, даются рекомендации по использованию их в промышленности, медицине и народном хозяйстве. Во второй части обсуждаются вопросы моделирования физических процессов, а также методики преподавания физики в школе и вузе. Третья часть содержит материалы по проблемам использования информационных технологий в научных исследованиях, процессах и системах передачи, хранения и защиты информации.

Предназначены для студентов, учителей школ, гимназий, колледжей, преподавателей вузов.

УДК 530

Редакционная коллегия:

А. В. Рогачев (главный редактор),
О. М. Демиденко, И. В. Семченко, С. А. Хахомов,
А. Н. Сердюков, Ю. В. Никитюк,
А. Н. Купо (ответственный секретарь),
В. В. Андреев, Е. А. Дей, В. Д. Левчук, А. В. Ворув, В. Н. Мышковец,
В. Е. Гайшун, Е. Б. Шершнев, Т. П. Желонкина

УО «ГГУ имени Ф. Скорины»
246019, Гомель, ул. Советская, 104,
<http://www.gsu.by>

© Учреждение образования «Гомельский
государственный университет
имени Франциска Скорины», 2016

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

Рогачев А. В. – ректор УО «ГГУ имени Ф. Скорины», доктор химически наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси

ЧЛЕНЫ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА

Хахомов С. А. – первый проректор УО «ГГУ имени Ф. Скорины», канд. физ.-мат. наук, доцент

Демиденко О. М. – проректор по научной работе УО «ГГУ имени Ф. Скорины», д-р техн. наук, профессор

Семченко И. В. – проректор по учебной работе УО «ГГУ имени Ф. Скорины», д-р физ.-мат. наук, профессор

Максименко Н. В. – профессор кафедры теоретической физики УО «ГГУ имени Ф. Скорины», д-р физ.-мат. наук, профессор

Никитюк Ю. В. – проректор по воспитательной работе УО «ГГУ имени Ф. Скорины», канд. физ.-мат. наук, доцент

Бойко А. А. – проректор по научной работе ГГТУ им. П.О. Сухого, канд. физ.-мат. наук, доцент

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

Сердюков А. Н. – профессор кафедры оптики УО «ГГУ имени Ф. Скорины», д-р физ.-мат. наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси

ЗАМ. ПРЕДСЕДАТЕЛЯ

Коваленко Д. Л. – декан физического факультета УО «ГГУ имени Ф. Скорины», канд. физ.-мат. наук, доцент

ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:

Дерюжкова О. М. – заместитель декана физического факультета УО «ГГУ имени Ф. Скорины» по научной работе, канд. физ.-мат. наук, доцент

Самофалов А. Л. – заместитель декана физического факультета УО «ГГУ имени Ф. Скорины», канд. физ.-мат. наук, доцент

Алешкевич Н. А. – заведующий кафедрой оптики УО «ГГУ имени Ф. Скорины», канд. физ.-мат. наук, доцент

- Андреев В. В.** – заведующий кафедрой теоретической физики УО «ГГУ имени Ф. Скорины», канд. физ.-мат. наук, доцент
- Левчук В. Д.** – заведующий кафедрой АСОИ УО «ГГУ имени Ф. Скорины», канд. техн. наук, доцент
- Мышковец В. Н.** – заведующий кафедрой радиофизики и электроники УО «ГГУ имени Ф. Скорины», канд. физ.-мат. наук, доцент
- Шершнев Е. Б.** – заведующий кафедрой общей физики УО «ГГУ имени Ф. Скорины», канд. техн. наук, доцент
- Бабич А. А.** – заведующий кафедрой «Высшая математика» ГГТУ им. П.О. Сухого, канд. физ.-мат. наук, доцент

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

- Купо А.Н.** – заместитель декана физического факультета УО «ГГУ имени Ф. Скорины» по НИРС

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

1. «Новые материалы и технологии»

Председатели:

Мышковец Виктор Николаевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.
Алешкевич Николай Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент.

2. «Моделирование физических процессов»

Председатели:

Андреев Виктор Васильевич, канд. физ.-мат. наук, доцент.
Дей Евгений Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент.

3. «Автоматизация исследований»

Председатели:

Левчук Виктор Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент.
Воруев Андрей Валерьевич, канд. техн. наук, доцент.

4. «Методика преподавания физики»

Председатели:

Шершнев Евгений Борисович, канд. техн. наук, доцент.
Желонкина Тамара Петровна, ст. преподаватель.

ПОРЯДОК РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

21 апреля 2016 г.

9⁰⁰ – 11⁰⁰ – регистрация участников – корпус 5, фойе второго этажа (ул. Советская, 102).

11⁰⁰ – 12⁰⁰ – открытие конференции, пленарное заседание – корпус 4, ауд. 4-1 (ул. Советская, 102).

12⁰⁰ – 15⁰⁰ – работа секций.

МЕСТА РАБОТЫ СЕКЦИЙ

1. **«Новые материалы и технологии»**
Корпус 5, ул. Советская, 102, ауд. 2-11.
2. **«Моделирование физических процессов»**
Корпус 5, ул. Советская, 102, ауд. 2-25.
3. **«Автоматизация исследований»**
Корпус 5, ул. Советская, 102, ауд. 4-16.
4. **«Методика преподавания физики»**
Корпус 5, ул. Советская, 102, ауд. 4-28.

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

1. **Рогачев А.В.** Ректор УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», член-корреспондент НАН Беларуси.

Открытие конференции.

2. **Коваленко Д.Л.** Декан физического факультета УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Наука на физическом факультете

3. **Vitaly Levashenko, Elena Zaitseva.** Жилинский университет, Словакия

CERES as platform for support of young researchers.

4. **Miroslav Kvaššay.** Жилинский университет, Словакия

Young researchers in informatics and their research activities.

5. **Гришечкин Ю.А.** УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Определение резонансных состояний двухчастичных квантовых систем

6. **Vyacheslav Kharchenko, Ievgen Babeshko, Andriy Kovalenko**
RPC Radiy (Украина)

Scientific Activities and Support of Young Researchers.

Секция 1 «Новые материалы и технологии»

Председатели:

Мышковец Виктор Николаевич, канд. физ.-мат. наук, доцент,
Алешкевич Николай Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент.

M.F.S.H. AL-Kamali, Y.T.A. Al-Ademi, V. Lobunov (BSUIR, Minsk)
Supervisor **I Vrublevsky**, PhD, associate professor

HIDING OF HEAT RADIATION BY MEANS OF NANOPOROUS ANODIC ALUMINA FILMS

Currently two types of the IR imaging cameras are used for visualization of thermal images of objects: the cooled IR imaging cameras operating in the short-wave range (3-5 microns) and the non-cooled IR imaging cameras in the medium range (8-14 microns). For the detection and identification of thermal facilities, such as a person with the length of the spectral thermal radiation of 9.3 micron, the non-cooled IR imaging cameras are used.

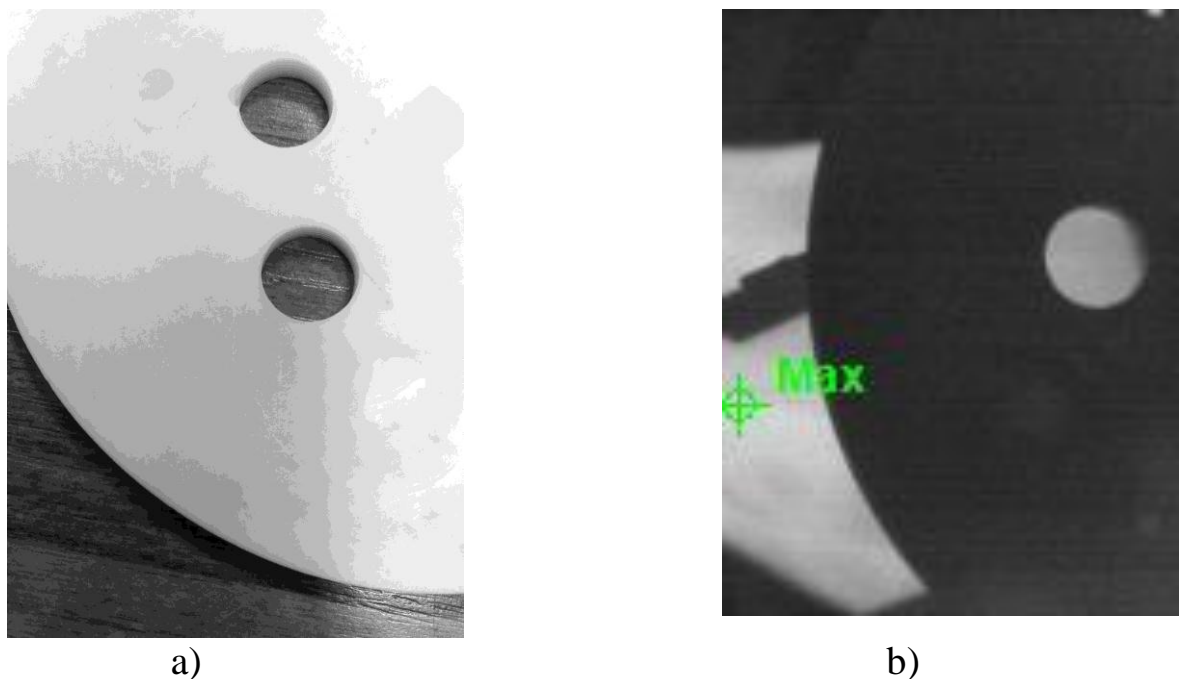
Along with development of thermal scanning technology an intensive search is conducted for new materials with ability to absorb and dissipate the heat radiation and thus it ensures hiding object for observing in the infrared range.

This paper presents the results of studies on the effect of the mask from nanoporous anodic alumina on contrast of thermal radiation of human on the screen of the non-cooled IR imaging camera. To investigate the pattern of the thermal field in the experiments the non-cooled IR camera (IR imaging camera system MobIR 4) was applied. To create heat spots with human temperature PTFE (polytetrafluorethylene) plate with two holes of diameter of 14 mm was used. PTFE plate was placed over the human palm, blocking the main heat radiation and passing one only through two holes. The nanoporous anodic alumina films used as a mask were prepared by anodizing of the aluminum foil of thickness of 100 microns in 0.4 M aqueous solution of oxalic acid at a potentiostatic mode at 60 V.

In experiments nanoporous anodic alumina film was placed on PTFE plate over one from two holes. PTFE plate was positioned so that the mask of the nanoporous anodic alumina film was away from the bioobject on distance of 3-5 mm. In our experiments, a second hole through which heat radiation pass without obstacles, was the control heat spot for evaluation of the masking effect. Figure 1 shows the obtained results.

The results of thermal studies have shown that the temperature of the palm, measured from the outside and through the hole in the PTFE plate is almost the same ($\Delta T \sim 0.6 \text{ }^\circ\text{C}$). The small difference in values is due to the heterogeneity of distribution of heat across the palm. The temperature at the surface of PTFE plate was around $30.3 \text{ }^\circ\text{C}$, and in the hole with heat radiation from the palm was $34.5 \text{ }^\circ\text{C}$. The results presented showed that the nanoporous anodic alumina film located on the 5 mm thick PTFE plate provides effective shielding of the heat radiation of human body.

At the same time the changing in the temperature for the biological object recorded with and without anodic alumina film was not more than $4\text{-}5 \text{ }^\circ\text{C}$.



a)

b)

a – photo of PTFE plate with two holes;

b – thermal picture of PTFE plate with two heat spots from the biological object in the case of masking one hole using nanoporous anodic alumina film

Figure 1 – Thermal investigations

Although optical clarity in the visible range, the nanoporous anodic alumina films markedly attenuate transmission of radiation in the medium range ($\lambda = 8\text{-}14$ microns), which may allow to use their as a filter for absorbing of radiation from biological objects.

The present study showed that the nanoporous anodic alumina films have good insulating and shielding properties for IR radiation in the wavelength range of $6\text{-}16$ microns and they can be used as heat shields to smooth contrast heat radiation of the object and the surrounding background and therefore to improve the efficiency of heat masking of objects.

Х.Т.М. Алрекаби, Т.Г. Баругу
(УО «БГУИР», Минск)

Науч. рук. **И.В. Боднарь**, д-р хим. наук, профессор

РОСТ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ AgIn_5S_8

Монокристаллы AgIn_5S_8 выращивали методом Бриджмена из предварительно синтезированных поликристаллических слитков. Полученные слитки измельчали, измельчали и перегружали в двойные кварцевые ампулы, из которых внутренняя ампула заканчивалась цилиндрическим капилляром, который обеспечивал формирование монокристаллической затравки. После вакуумирования внутренней ампулы ее помещали во вторую кварцевую ампулу большего диаметра, которую также вакуумировали. К наружной ампуле снизу приваривали кварцевый стержень, служивший держателем.

Выращивание монокристаллов проводили в вертикальной однозонной печи с заданным температурным градиентом. Температуру в печи повышали со скоростью 250 К/ч до ~ 1360 К и для гомогенизации расплава, выдерживали при этой температуре 2 ч, после чего проводили направленную кристаллизацию расплава, понижая температуру печи со скоростью ~ 2 К/ч до полного затвердевания расплава. Для гомогенизации полученных слитков их отжигали при 1020 К в течение ~ 170 ч. Выращенные в таких условиях монокристаллы имели диаметр ~ 16 и длину ~ 35 мм, были однородными, что было установлено методами микрорентгеноспектрального и рентгеновского анализов.

Структуру и параметры элементарной ячейки полученных кристаллов устанавливали рентгеновским методом. Дифрактограммы записывали на автоматически управляемом с помощью ЭВМ рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 М в $\text{CuK}\alpha$ – излучении с графитовым монохроматором.

Проведенные рентгеновские исследования показали, что на дифрактограмме AgIn_5S_8 присутствуют индексы отражения, характерные для кубической структуры шпинели (см. рисунок 1). Параметр элементарной ячейки, рассчитанный методом наименьших квадратов равен $a = 10.827 \pm 0.005 \text{ \AA}$.

Измерения теплового расширения проводили на кварцевом дилатометре в интервале температур 80–700 К на образцах монокристаллов, средними размерами $10 \times 4 \times 3 \text{ мм}^3$.

Результаты измерений теплового расширения представлены на рисунке 2. Анализ полученных результатов показывает, что коэффициент

теплового расширения (α_L) для AgIn_5S_8 очень слабо изменяется в интервале температур 90–175 К ($1.56 - 1.90 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), затем происходит резкий рост α_L вплоть до $12.6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (350 К), после чего температура на величину α_L оказывает слабое влияние.

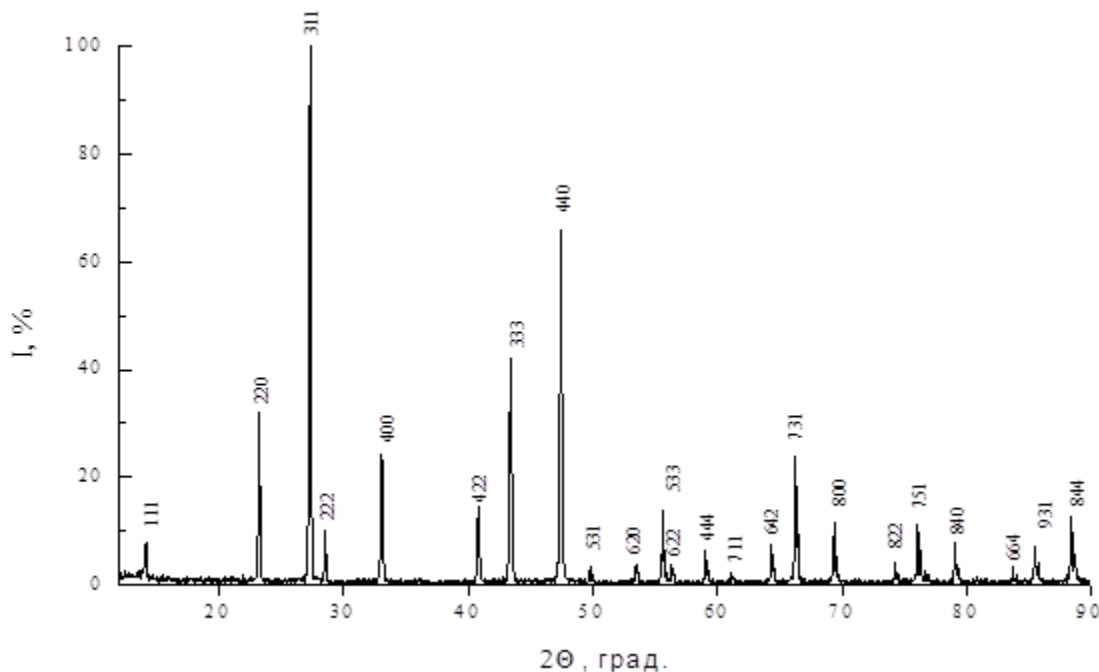


Рисунок 1 – Дифрактограмма кристаллов AgIn_5S_8

Полученные значения Секкоэффициента теплового расширения были использованы для расчета характеристической температуры Дебая и среднеквадратичных динамических смещений атомов по формулам:

$$\Theta_D^\alpha = 14,3 / \alpha_L^{1/2} \bar{A}^{1/2} \bar{V}^{1/3}, \quad (1)$$

$$\bar{u}^2 = 4,3 \times 10^{-14} \frac{\left[\frac{D(\Theta/T)}{\Theta/T} + \frac{1}{4} \right]}{\bar{A}\Theta}, \quad (2)$$

где α_L – коэффициент теплового расширения, \bar{A} – средняя атомная масса, \bar{V} – средний атомный объем, $D(\Theta_D^\alpha/T)$ – функция Дебая.

Данные расчетов величин Θ_D^α и $\sqrt{\bar{u}^2}$ по выражениям (1) и (2) представлены в таблице 1.

Видно, что с ростом температуры значения температуры Дебая уменьшаются, а среднеквадратичные динамические смещения атомов увеличиваются. Такое поведение величин указанных величин свидетельствует об ослаблении химической связи в соединения AgIn_5S_8 с ростом температуры.

Температурная зависимость теплопроводности (χ) монокристаллов AgIn_5S_8 представлена на рисунке 2.

Таблица 1 – Коэффициенты теплового расширения, температуры Дебая и среднеквадратичные динамические смещения атомов для AgIn_5S_8

№ п/п	T, К	$\alpha_L \cdot 10^{-6}$, К ⁻¹	Θ_D , К	$\sqrt{u^2}$, Å	№ п/п	T, К	$\alpha_L \cdot 10^{-6}$, К ⁻¹	Θ_D , К	$\sqrt{u^2}$, Å
1.	90	1.56	385	0.077	10.	243	7.07	181	0.181
2.	95	1.57	384	0.079	11.	260	8.42	166	0.248
3.	133	1.58	383	0.088	12.	290	11.05	145	0.296
4.	148	1.60	381	0.093	13.	350	12.61	136	0.344
5.	162	1.73	366	0.099	14.	402	12.63	135	0.370
6.	174	1.92	347	0.108	15.	508	12.68	135	0.416
7.	196	3.00	278	0.136	16.	586	12.71	135	0.446
8.	207	3.99	241	0.159	17.	680	12.73	135	0.480
9.	222	5.26	210	0.186					

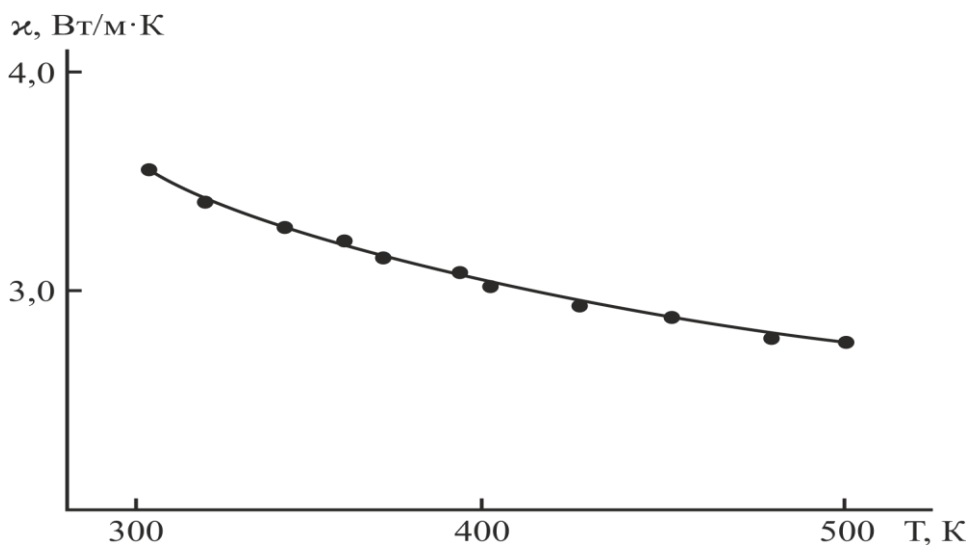


Рисунок 2 – Температурная зависимость теплопроводности для монокристаллов AgIn_5S_8

Видно, что в диапазоне 300 – 500 К теплопроводность AgIn_5S_8 имеет вид T^n , где $n < 1$. Отличие степенного коэффициента n от 1 свидетельствует о существенном влиянии дефектности кристалла на процессы теплопроводности, следствием чего является слабая зависимость χ от температуры.

Х.Т.М. Алрекаби (УО «БГУИР», Минск)
Науч. рук. **И.В. Боднарь**, д-р хим. наук, профессор

ВЫРАЩИВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ In_2S_3 МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКИХ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ РЕАКЦИЙ

Соединение In_2S_3 относится к полупроводниковым материалам $A^{III}_2B^{VI}_3$, которые в последнее время привлекают внимание исследователей, как к материалу «окна» в тонкопленочных фотопреобразователях на основе тройных соединений $A^I B^{III} C_2^{VI}$ с целью замены CdS , что связано с его токсичностью. Указанное соединение является перспективным материалом для создания приборов различного назначения: диодов Шоттки, лазеров, управляемых магнитным полем, модуляторов света, переключателей и других устройств. В настоящей работе представлены данные о выращивании монокристаллов In_2S_3 из газовой фазы и определение их структуры.

Монокристаллы соединения In_2S_3 получали в два этапа. Предварительно двухтемпературным методом из элементарных компонентов чистотой $> 99.999\%$ синтезировали поликристаллические слитки, которые после растирания использовали для выращивания монокристаллов.

Монокристаллы соединения In_2S_3 выращивали методом химических газотранспортных реакций. Процессы переноса и рост монокристаллов проводили в кварцевых ампулах внутренним диаметром ~ 18 и длиной ~ 180 мм, которые предварительно травили в смеси кислот $\text{HNO}_3:\text{HCl}=1:3$, промывали в дистиллированной воде и отжигали в вакууме при 1273 K .

Первоначально ампула состояла из двух секций. В одну из них загружали соединение In_2S_3 в виде порошка, в другую - капилляр с йодом, предварительно откачанный и запаянный. Концентрация йода составляла 4 мг/см^3 . Ампулу откачивали до остаточного давления $\sim 10^{-3}\text{ Па}$, а затем с помощью «магнитного» молотка вскрывали капилляр с йодом, который перегоняли в секцию с исходным соединением.

Нагрев печи с ампулой вели таким образом, что температура зоны реакции, где находился порошок In_2S_3 , была на $\sim 100\text{ K}$ ниже, чем зоны кристаллизации. Это необходимо для протекания реакции между In_2S_3 и йодом с образованием йодидов металлов и для очистки зоны от возможных дополнительных центров кристаллизации. Через определенное время температуру в зонах выравнивали и устанавливали $\sim 1020\text{ K}$, а затем постепенно, в течение 150 ч , температуру в зоне реакции повышали до $\sim 1080\text{ K}$. Выращенные в таких температурных условиях объемные монокристаллы соединения In_2S_3 имели размеры $8\times 3\times 3\text{ мм}$.

Результаты микронзондовых рентгеноспектральных измерений показали, что содержание компонент в выращенных монокристаллах удовлетворительно согласуется с заданным составом в исходной шихте.

Структуру и параметры элементарной ячейки полученных кристаллов устанавливали рентгеновским методом. Дифрактограммы записывали на автоматически управляемом с помощью ЭВМ рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 М в $\text{CuK}\alpha$ – излучении с графитовым монохроматором. Образцы для рентгеновских измерений готовили путем растирания кристаллов с последующим прессованием их в специальном держателе. Для снятия механических напряжений, возникающих при растирании кристаллов, проводили их отжиг в вакууме при 650 К в течение ~2 ч.

Дифрактограмма монокристаллов соединения In_2S_3 представлена на рисунке.

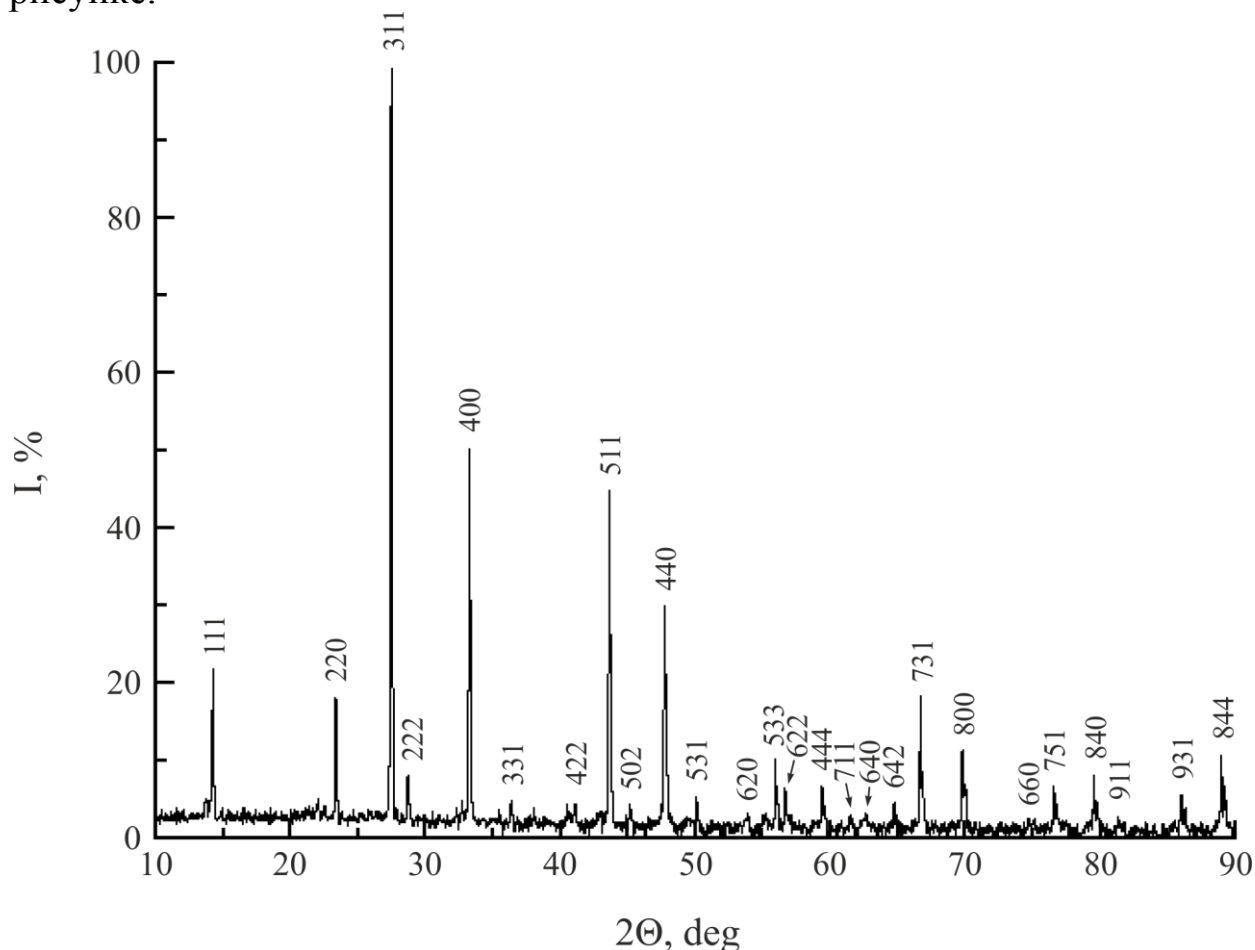


Рисунок – Дифрактограмма соединения In_2S_3

Углы отражения (2θ), межплоскостные расстояния (d), относительные интенсивности рефлексов (I/I_0), индексы Миллера плоскостей (hkl) для соединений для полученных монокристаллов представлены в таблице.

Таблица – Результаты рентгеновского анализа соединения In_2S_3

$2\theta_{\text{экс.}}$, град.	$2\theta_{\text{расч.}}$, град.	$d_{\text{экс.}}$, Å	$d_{\text{расч.}}$, Å	hkl	I/I ₀ , %
14.23	14.23	6.22	6.22	111	23
23.34	23.33	3.81	3.81	220	19
27.44	27.43	3.2476	3.2482	311	100
28.69	28.68	3.1088	3.1098	222	10
33.25	33.24	2.6924	2.6932	400	50
36.33	36.32	2.4708	2.4715	331	4
41.04	41.01	2.1975	2.1987	422	1
43.61	43.62	2.0736	2.0732	511	45
45.28	45.29	2.0001	2.0005	502	2
47.71	47.72	1.9046	1.9044	440	30
50.06	50.05	1.8206	1.8209	531	5
53.77	53.77	1.7033	1.7033	620	3
55.92	55.92	1.6428	1.6428	533	6
56.63	56.62	1.6239	1.6241	622	7
59.39	59.39	1.5549	1.5549	444	7
61.41	61.40	1.5085	1.5087	711	3
62.06	62.07	1.4942	1.4940	640	2
64.71	64.69	1.4393	1.4397	642	5
66.64	66.62	1.4022	1.4025	731	19
69.77	69.78	1.3468	1.3466	800	12
74.71	74.69	1.2695	1.2698	660	1
76.54	76.52	1.2440	1.2439	751	7
79.52	79.51	1.2043	1.2044	840	8
81.31	81.28	1.1823	1.1826	911	2
86.01	86.02	1.1292	1.1292	931	6
88.97	88.95	1.0992	1.0994	844	11

В.К. Антонович (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)

Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

СОСТАВЫ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОДЗЕМНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

Индустриализация и бурное развитие городов породило глобальную проблему современности: недостаток площадей для размещения оборудования, техники, хранения автомобилей. Частично решить ее позволяют подземные сооружения, которые предназначены для хранения жидких

и газообразных сред. Сфера использования решений предельно широка, поэтому их можно применять повсеместно.

Подземные резервуары относятся к емкостям, которые не портят своим видом окружающий пейзаж, позволяют с высокой надежностью хранить текучие материалы и не требуют дополнительных площадей для размещения. Их используют для хранения технической и питьевой воды, нефти и нефтепродуктов, газообразных продуктов и др. Эта группа резервуаров имеет горизонтальное расположение. Для их строительства используют железобетон, металл, пластик или камень.

Защита металлических резервуаров, эксплуатируемых под землей, – одна из важных и актуальных задач промышленных предприятий нашей страны, так как коррозия металлических сооружений наносит большой материальный и экономический ущерб. Вред, который причиняет подземная коррозия, достаточно велик: ежегодно в нашей стране выходит из строя (2–4) % подземных сооружений, что в пересчете на металл составляет около 1 млн. т. [1]. Поэтому защита металла, эксплуатируемого в этих условиях, крайне необходима. Она решает как экологические, так и экономические задачи, сохраняя собственно металл и средства собственника.

Наибольшее влияние на условия эксплуатации и срок службы подземных металлических сооружений оказывает коррозионная и биокоррозионная агрессивность окружающей среды, а также блуждающие постоянные токи, источником которых является рельсовый электрифицированный транспорт, и переменные токи промышленной частоты [2, 3].

Единственно возможным способом борьбы с этими негативным явлением является своевременное принятие мер по противокоррозионной защите стальных подземных сооружений. Поэтому производство металлических подземных конструкций требует особой тщательности контроля и соблюдения всех технологий.

Существующие способы борьбы с подземной коррозией сводятся к применению различных изолирующих покрытий и электрохимической защиты [4].

В качестве материала для подземных резервуаров и емкостей используется в основном черный металл, иногда нержавеющая сталь. В качестве основных материалов для формирования защитных покрытий рекомендуются: полиэтилен, полиэтиленовые липкие ленты, термоусаживающиеся полиэтиленовые ленты, битумные и битумно-полимерные мастики, наплаваемые битумно-полимерные материалы, рулонные мастично-ленточные материалы, композиции на основе фурановых, полиэфирных, виниловых и эпоксидных смол, полиуретанов и других материалов [5].

В грунтах почти всегда содержатся соли, кислоты, щелочи и органические вещества, которые оказывают разрушающее действие на стенки стальных резервуаров. Поэтому подземные металлические емкости и резервуары в процессе эксплуатации подвергаются коррозии.

Цель работы заключается в разработке специального композиционного состава, который защитит подземные резервуары от воздействия на них различных вредных факторов.

Для проведения эксперимента были разработаны защитные составы на основе различных компонентов. Для приготовления композиций использовали промышленно выпускаемую мастику гидроизоляционную ТЕХНОНИКОЛЬ № 24 (МГТН). Она представляет собой полностью готовый к применению материал на основе нефтяного битума, содержащий технологические добавки, минеральные наполнители и растворитель. Предназначена для наружной гидроизоляции бетонных, железобетонных, деревянных и других строительных конструкций. Применяется в диапазоне температур от минус 20 °С до плюс 40 °С.

В качестве наполнителя использовали резиновую крошку «Модус-0,6» (ТУ ВУ 590619191.001-2007) производства СООО «НПГ «Экологическая Альтернатива», г. Гродно. Она представляет собой резину дробленую регенерированную повышенной степени очистки с размером фракции (0–0,63) мм.

Резиновая крошка – совокупность частиц измельченной резины различной дисперсности и разнообразной формы (фракции), которые характеризуются, прежде всего, тем, что сохраняют в своей основе молекулярную структуру и эластомерные свойства исходной резины, а поверхность частиц может быть активирована для предания особых свойств резиновой крошке, либо путем частичной девулканизации приповерхностного слоя частиц, либо модификацией поверхности частиц химической или физико-химической обработкой.

По результатам анализа полученных результатов следует отметить, что модифицирование исходной мастики частицами регенерированной резиновой крошки приводит к снижению твердости композиционного состава на 10 %, однако не влияет на водопоглощение и прочность сцепления с металлической основой. Наиболее оптимальным является содержание наполнителя 5,0 мас %, так как при этом содержании наполнителя отмечено наиболее благоприятное сочетание эксплуатационных характеристик.

Выводы. Разработанный защитный состав на основе промышленно выпускаемой мастики гидроизоляционной ТЕХНОНИКОЛЬ № 24 (МГТН) и наполнителя резиновой крошки «Модус - 0,6» с размером фракции ~ 0,63мм, позволяет повысить когезионные связи, улучшить упругие характеристики покрытий и снизить вероятность растрескивания битумных покрытий в течении долгого времени.

Предлагаемые решения позволяют решить как техническую задачу повышения эксплуатационного ресурса изделий, эксплуатируемых под землей, так и вопросы утилизации отработанных отходов РТИ, т. к. резиновая крошка «Модус-0,6» представляет собой продукт переработки вторичного резинового сырья.

Практическое применение полученных результатов видится в обеспечении антикоррозионной защиты оборудования нефтехимической отрасли, эксплуатируемого под землей.

Литература

1. Притула, В.В. Подземная коррозия трубопроводов и резервуаров / В.В. Притула – М.: Акела, 2003. – 225 с.
2. Оленев, Н.М. Хранение нефти и нефтепродуктов. 3-е изд. / Н.М. Оленев – Ленинград: Издательство «Недра», 1964. – 429 с., ил.
3. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Подземные резервуары. – Режим доступа: <http://aluva.ru/podzemnye-rezervuary/>. – Дата доступа: 04.10.2014.
4. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Подземные резервуары и емкости. – Режим доступа: <http://mrezervuar.ru/podzemnye-rezervuary-i-emkosti.html>. – Дата доступа: 04.10.2014.
5. Стрижевский, И.В. Подземная коррозия и методы защиты / И.В. Стрижевский – М., 1986. – 324 с.
6. Семенова, И.В. Коррозия и защита от коррозии / И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.
7. Кузнецов, М.В. Противокоррозионная защита трубопроводов и резервуаров / М.В. Кузнецов, В.Ф. Новоселов, П.И. Тугунов, В.Ф. Котов – Москва: Изд-во «Недра», 1992. – 240 с.

В.С. Асадчий (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)
Науч. рук. **И.В. Семченко**, д-р физ.-мат. наук, профессор

ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ ТЕРАГЕРЦОВЫЕ ПОГЛОТИТЕЛИ ДЛЯ ПЕЧАТИ НА БОЛЬШИХ ПЛОЩАДЯХ

В последнее время активно исследуются поглотители электромагнитных волн с оптически малыми толщинами. Множество разнообразных моделей таких поглотителей было предложено и исследовано (см. обзор [1]). Однако, большинство всех предложенных поглотителей включают в себе непроницаемую металлическую подложку (отражатель), которая сильно ограничивает возможности и применения данных поглотителей.

Проектирование поглотителей без металлической подложки позволило бы использовать их в качестве «невидимых» сенсоров, волновых фильтров и т. д. В то же время известные терагерцовые поглотители, как правило, имеют линейные размеры, в тысячи раз превышающие размеры их структурных элементов и длину волны, на которой они функционируют. Это приводит к усложнению процесса изготовления терагерцовых поглотителей: необходимо изготавливать структуры с площадями порядка нескольких тысяч квадратных сантиметров, в то время как точность изготовления структурных элементов поглотителя должна быть порядка нескольких десятков микрометров.

Цель данной работы заключается в проектировании печатных (плоских) терагерцовых поглотителей без металлической подложки. Изготовление данных поглотителей может быть проведено с использованием новейшего технологического процесса широкоформатной печати плосковых антенн («roll-to-roll reverse-offset printing»). Данная технология сейчас активно развивается в технологическом центре VTT в Эспоо (Финляндия). Она предоставляет возможность изготавливать образцы с площадью до нескольких квадратных метров и точностью до одного микрометра.

Для того, чтобы оптически тонкая периодическая структура (состоящая из двумерного массива структурных ячеек) полностью поглощала нормально падающее электромагнитное излучение, элементы в каждой структурной ячейке должны иметь следующие электрическую и магнитную поляризуемости:

$$\eta_0 \alpha_{ee} = \frac{1}{\eta_0} \hat{\alpha}_{mm} = i \frac{S}{\omega}, \quad (1)$$

где η_0 – волновой импеданс свободного пространства, ω – циклическая частота, S – площадь ячейки, $\hat{\alpha}_{ee}, \hat{\alpha}_{mm}$ – коллективные электрическая и магнитная поляризуемости каждой ячейки. Поляризуемости связывают электрические и магнитные диполи, индуцированные в ячейке, с известными амплитудами полей падающей волны. Как видно из формулы (1), эффективные поляризуемости, нормированные на импеданс свободного пространства, должны быть равными (что соответствует сбалансированным электрическим и магнитным свойствам всей периодической структуры) и чисто мнимыми (что соответствует резонансу структуры). В работе [2] мы исследовали реализацию данного случая на примере массива правильно подобранных металлических спиралей, спроектированных так, что их электрические и магнитные свойства равнозначны. Каждая ячейка массива содержала одинаковое число право- и левовитковых спиралей. Распределение спиралей должно быть рацемическим,

для того, чтобы в среднем скомпенсировать киральный эффект во избежание паразитной прошедшей волны ортогональной поляризации.

В данной работе исследуется возможность реализации поглотителя, удовлетворяющего условиям (1), с использованием только плоских металлических элементов (полосок). Необходимая геометрия элементарной ячейки поглотителя, состоящая из двухслойного массива металлических полосок, напечатанных на обеих сторонах диэлектрической подложки, изображена на рисунке 1(а).

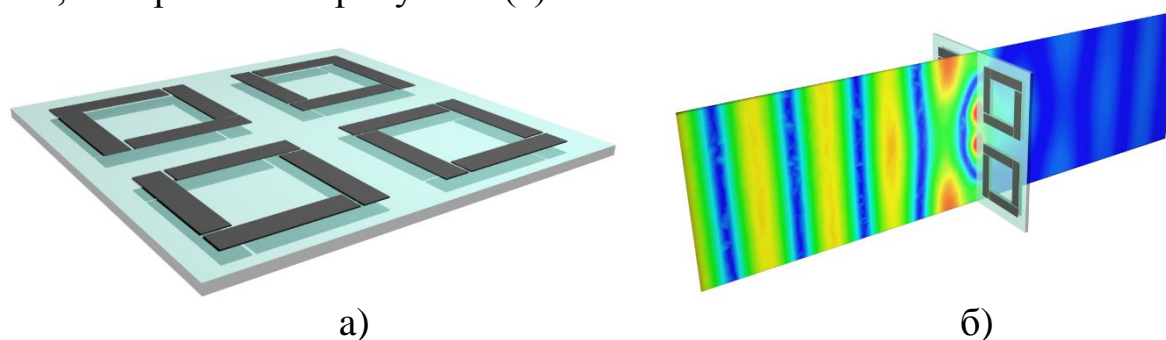


Рисунок 1 – Элементарная ячейка исследуемого поглотителя(а).
Распределение электрического поля падающей волны при взаимодействии с поглотителем(б).

Изображена только одна ячейка. Каждая ячейка состоит из восьми наборов металлических полосок: четыре на одной стороне и четыре на другой стороне диэлектрической подложки [3].

Для того, чтобы достичь необходимого уровня диссипативных потерь энергии в поглотителе, использовались металлические чернила из специального сплава с правильно подобранной электрической проводимостью. Так как поглотитель представляет собой двумерный массив субволновых резонансных элементов, высокий уровень поглощения будет наблюдаться при небольших отклонениях падающей волны от нормали. Распределение электрического поля падающей на поглотитель волны, найденное численно с использованием программного пакета ANSYS HFSS, изображено на рисунке 1(б) (подразумевается резонансная частота). Из рисунка видно, что отражение от структуры пренебрежительно мало (полные поля с левой стороны приблизительно равны полям падающей волны), в то время как прошедшая волна практически отсутствует. Данный поглотитель имеет высокую эффективность (96%) и функционирует одинаково для волн, падающих с обеих сторон.

Реализация плоских широкомасштабных поглотителей, работающих в терагерцовом диапазоне, может найти множество применений для терагерцовых сенсоров, болометров, антенн и других систем. Отсутствие непроницаемой металлической подложки позволит использовать данные поглотители в качестве волновых фильтров или «невидимых» сенсоров.

Литература

1. Ra'di, Y. Thin Perfect Absorbers for Electromagnetic Waves / Y. Ra'di, C.R. Simovski, and S.A. Tretyakov // Phys. Rev. Applied. – 2015. – Vol. 3. – P. 037001.
2. Asadchy, V.S. Broadband Reflectionless Metasheets: Frequency-Selective Transmission and Perfect Absorption / V.S. Asadchy, I.A. Faniayeu, Y. Ra'di, S.A. Khakhomov, I.V. Semchenko, and S.A. Tretyakov // Phys. Rev. X. – 2015. – Vol. 5. – P. 031005.
3. Ye, Y. 90 Degree Polarization Rotator Using a Bilayered Chiral Metamaterial with Giant Optical Activity / Y. Ye, and S. He // Appl. Phys. Lett. – 2010. – Vol. 96. – No. 20. – P. 203501.

А.В. Баглов (УО БГУИР, Минск)

Науч. рук. **В.Е. Борисенко**, д-р физ.-мат. наук, профессор

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ПЛЕНКИ ДИОКСИДА ТИТАНА, СФОРМИРОВАННЫЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

Приведены результаты по структурным свойствам золь-гель сформированных пленок из диоксида титана, содержащих наноразмерные частицы диоксида титана, микроразмерные частицы диоксида титана и их комбинацию. Установлено, что наиболее пористые покрытия содержат одновременно нано- и микроразмерные частицы титана. Нанесение на пористые покрытия титансодержащего золя уменьшает их удельную площадь, формируя сглаженные, почти монолитные пленки.

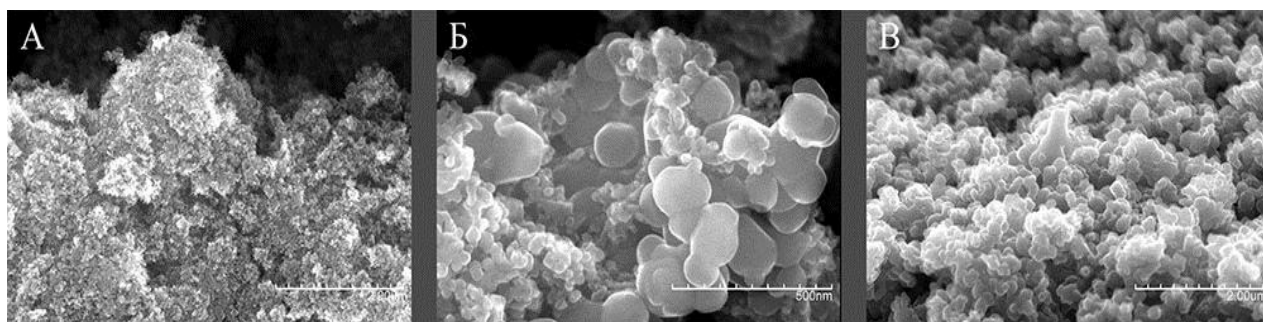
Диоксид титана (TiO_2) считается практически идеальным полупроводником для использования в качестве фотокатализатора благодаря его стабильности, высокой фоточувствительности, приемлемой ширине запрещенной зоны, низкой стоимости, безвредности для человека и окружающей среды, а также высокой электронной проводимости [1,2]. Макроскопический диоксид титана принадлежит к числу наиболее часто используемых фотокатализаторов. Использование наноструктурированного диоксида титана повышает его удельную фотокаталитическую эффективность. Значительную роль играют структурные свойства покрытий из наноструктурированного диоксида титана.

Целью наших исследований является сравнительный анализ структурных свойств золь-гель сформированных покрытий из диоксида титана, содержащих наноразмерные, микроразмерные частицы этого материала и их комбинацию в весовой пропорции 1:1, а также оценка влияние нанесения титансодержащего золя на полученные покрытия.

Эксперименты проводили на подложках из алюминия марки АОН размером 16 мм × 25 мм × 1 мм. Предварительная подготовка поверхности алюминия включала стандартные операции химической очистки от органических и неорганических загрязнений. Пленки TiO₂ на поверхности алюминия формировали золь-гель метода с использованием одного из четырех составов золь. Первый состав включал 0,788 г тетраизопророксида титана (Ti(*i*-OC₃H₇)₄) в качестве прекурсора и 7,4 г смеси этанола (C₂H₅OH) и бутанола (C₄H₉OH) в весовой пропорции 1:1 в качестве растворителя. Во втором в этот золь добавляли порошок из наночастиц TiO₂ Degussa P90 (фракция 25–30 нм). В третьем в золь добавляли порошок из микроразмерных частиц TiO₂ (фракция 200–300 нм). В четвертом составе оба типа порошков смешивали в весовой пропорции 1:1. Массовая доля частиц диоксида титана в золе во всех случаях составляла 7,4 %.

Нанесение золя на образцы производили методом окупания: образцы вертикально погружали в золь на 60 сек, после чего извлекали со скоростью 10 мм/с. Затем осуществляли сушку образцов при 200 °С в течение 3 мин на воздухе. Последовательность операций погружения в золь, извлечения и сушки осуществляли 4 раза для формирования 4 слоев пленки TiO₂. Для удаления остатков растворителя и кристаллизации TiO₂ в фазе анатаза проводили термообработку при 500 °С на воздухе в течение 30 мин. Затем на полученные покрытия наносили золь без добавления порошка. Режим нанесения оставался прежним. Последовательность операций погружения в золь, извлечения и сушки осуществляли 4 раза для формирования 4 слоев пленки TiO₂. Термообработку проводили при 500 °С на воздухе в течение 30 мин.

Структуру формируемых покрытий анализировали растровой электронной микроскопией (РЭМ). Электронно-микроскопическое исследование показало, что наиболее развитая поверхность покрытия образуется из золя, содержащего одновременно нано- и микроразмерные частицы TiO₂ – рисунок 1б. Его кораллоподобная структура сформирована остовом из агломератов микроразмерных частиц с расположенными на них наночастицами. Подобные структуры формируются во всех случаях использования золя с порошкообразным диоксидом титана. Покрытие, сформированное только наноразмерными частицами P90 (рисунок 1а) и микроразмерными частицами диоксида титана (рисунок 1в) также обладают выраженным рельефом. При использовании золя с наноразмерными частицами P90 структура покрытия более плотная, плотность размещения частиц выше, расстояние между отдельными агломератами минимально. Использование золя с порошком микроразмерных частиц диоксида титана формирует покрытие, подобное покрытию на рисунке 1б, но с более развитой поверхностью за счет отсутствия частиц P90, осевших на неоднородностях, в трещинах, областях между отдельными кристаллитами.



А – с наноразмерными частицами, Б – микро- и наноразмерными частицами, В – микро-размерными частицами

Рисунок 1 – Структура покрытия, сформированного из золя

Нанесение титансодержащего золя на сформированные пористые покрытия приводит к формированию сглаживанию поверхности и образованию структур, показанных на рисунке 2. На покрытиях из наноразмерных частиц и комбинации нано- и микро-размерных частиц поры заполняются диоксидом титана, уменьшающим удельную площадь поверхности. В случае покрытия из микро-размерных частиц поверхность состоит из монолитных кристаллитов с типичными размерами 2 мкм × 3 мкм, отстоящих друг от друга на 0,5–1 мкм, под которыми просматривается структура, показанная на рисунке 1в. По всей видимости, покрытие из микро-размерных частиц не обладает развитой объемной структурой.

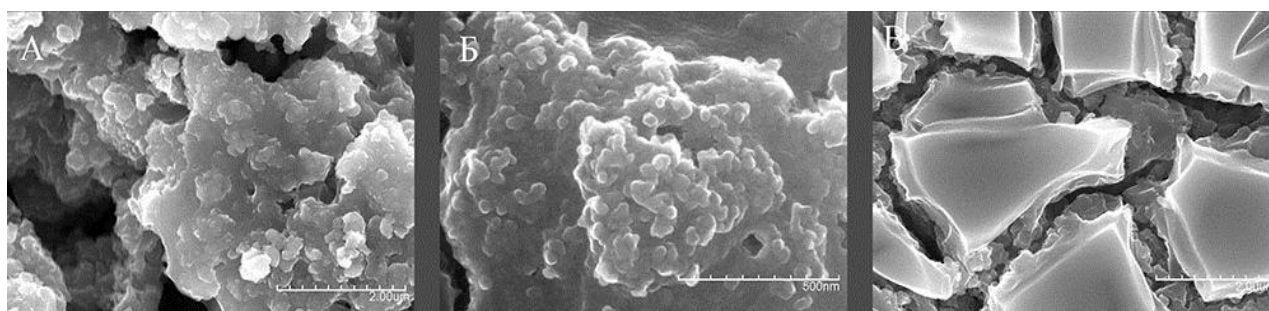


Рисунок 2 – Структура покрытия, сформированного нанесением золя на покрытие из: А – наноразмерных частиц, Б – микро- и наноразмерных частиц, В – микро-размерных частиц

Наносимый золь остается на поверхности и формирует монолитную пленку ксерогеля TiO_2 , растрескивающуюся во время термообработки. Удельная площадь такого покрытия сильно уменьшается, что снижает привлекательность структур такого типа для практического применения, например, фотокатализаторов.

Таким образом установлено, что нанесение золя на покрытия из наноразмерных частиц и комбинации нано- и микро-размерных частиц и

последующая термообработка приводит к кристаллизации заполняющего свободное пространство TiO_2 -ксерогеля, скрепляющего присутствующие частицы диоксида титана. На покрытии из микроразмерных частиц формируется почти монолитная пленка из-за низкой объемной пористости.

Литература

1. Gupta, S.M. A review of TiO_2 nanoparticles / Shipra Mital Gupta, Manoj Tripathi / Physical Chemistry. 2011. V.56, № 16. – P. 1639–1657.
2. Wang C.-T.. Titania nanocomposite thin films with enhanced photovoltaic efficiency: Effects of Ti-alkoxide sol and compact layer / Wang Chien-Tsung, Yen Chen-Feng / Surface & Coatings Technology. 2012. № 206. – P. 2622–2627.

И.В. Батурля (УО «БГУИР», Минск)

Науч. рук. **В.В. Баранов**, д-р техн. наук, профессор

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНЫХ МАСЕЛ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Применив технологию удалённого мониторинга параметров работы локомотивов [1] на выборке из 130 секций удалось снизить себестоимость перевозок на величину до 7%. При этом в область мониторинга были включены параметры потребления топлива, параметры разгона и торможения, мощности силовых установок и местоположения. Установлено, что количество внезапных отказов также снизилось примерно на 15%. Дальнейшее снижение эксплуатационных затрат стало бы возможным при оптимизации дисциплины проведения регламентных работ по техобслуживанию агрегатов не в зависимости от моточасов или пробега, а по фактическому состоянию. Такую возможность могут предоставить проактивные системы мониторинга с контролем параметров старения масел в силовых агрегатах и с функциями (агентами) прогнозирования их технического состояния.

В настоящее время контроль параметров смазочных масел осуществляется путём забора проб для анализа масла физико-химическими методами, вплоть до эмиссионного спектрального анализа, в специализированных лабораториях. Затратно и медленно. Для повышения эксплуатационной надёжности и эффективного использования машин хотелось бы контролировать параметры носителями которых является само масло, как составная часть силовых агрегатов. Находясь в замкнутом

смазывающем контуре в процессе эксплуатации, масло изменяет свои физико-химические свойства. Являясь смесью углеводородов-диэлектриков, с характерным для каждого типа масла набором присадок, каждый тип масла обладает вполне характерными для данного типа диэлектрической проницаемостью, проводимостью, тангенсом угла диэлектрических потерь (добротностью), углом сдвига фаз между действительной и мнимой частью проводимости – то есть иммитансными характеристиками. Эти характеристики существенно изменяются в процессе эксплуатации (старения) масел. Их изменение даёт возможность оценить наличие загрязняющих компонентов, а величина отклонения от исходных значений позволяет оценивать как техническое состояние агрегата, так и параметры старения масел.

Известно, что для контроля качества трансформаторных масел в энергетике стандарты, начиная от ГОСТ 6581-75 до [2] предписывают определять тангенс угла диэлектрических потерь (добротность), угол сдвига фаз между действительной и мнимой частью проводимости образца – тангенс дельта. В отдельных работах [3] оценка изменения качества масел двигателей внутреннего сгорания основывается на анализе относительной диэлектрической проницаемости образцов масел. Ни та, ни другая технология не доработаны до уровня, позволяющего применить их в системах мониторинга. В данной работе исследуется изменение тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ и ёмкости C_s объёмной измерительной ячейки (конденсатора) заполненной образцом исследуемого масла для последовательной эквивалентной схемы замещения в зависимости от частоты тока и степени загрязнённости исследуемых образцов моторных масел.

В ходе работы проводилась регистрация зависимости параметров $\text{tg}\delta$ и C_s в диапазоне частот от 25 Гц до 1кГц для проб масел с разной степенью загрязнённости. Образцы для исследований предоставлены предприятием-партнёром SIA «Ekotehserviss» (г.Рига). Набор образцов составлен из проб, забираемых физико-химической лабораторией депо в процессе эксплуатации из двигателя одного и того же локомотива.

Параметр загрязнённости, условно, – моточасы. Регистрация измеряемых параметров проводилась при комнатной температуре с помощью измерителя иммитанса E7-25, изготовленного «ОАО МНИПИ» Республики Беларусь. Этот прибор позволяет регистрировать иммитансные характеристики с точностью не хуже 1%.

В качестве датчика для регистрации параметров использовали плоский конденсатор, помещённый в среду образца. В таблице 1 приведены характеристики проб вязкости и загрязнённости моторного масла M14B2, применяемого для смазки двигательной установки.

Таблица 1 – Характеристики проб моторного масла М14В2

Наименование пробы	Вязкость при 100°С	Загрязнённость, моточасов	Примечание
10	13,80	-	Чистое
3	13,88	153,50	-
6	13,95	320,10	-
15	14,89	465,20	Присутствует вода
16	14,22	628	-
17	15,02	907,2	-

На рисунке 1 представлена зависимость $\text{tg}\delta$ от частоты. Как видно из рисунка, в диапазоне частот от 25 Гц до 1 кГц значения $\text{tg}\delta$ для всех образцов уменьшаются обратно пропорционально частоте.

Из графиков в явном виде не следует, но количественные расчеты на каждой частоте показывают, что изменение $\text{tg}\delta$ от загрязненности на частотах от 25 Гц до 1 кГц, которые лежат в пределах около 50% от максимальных до минимальных значений $\text{tg}\delta$.

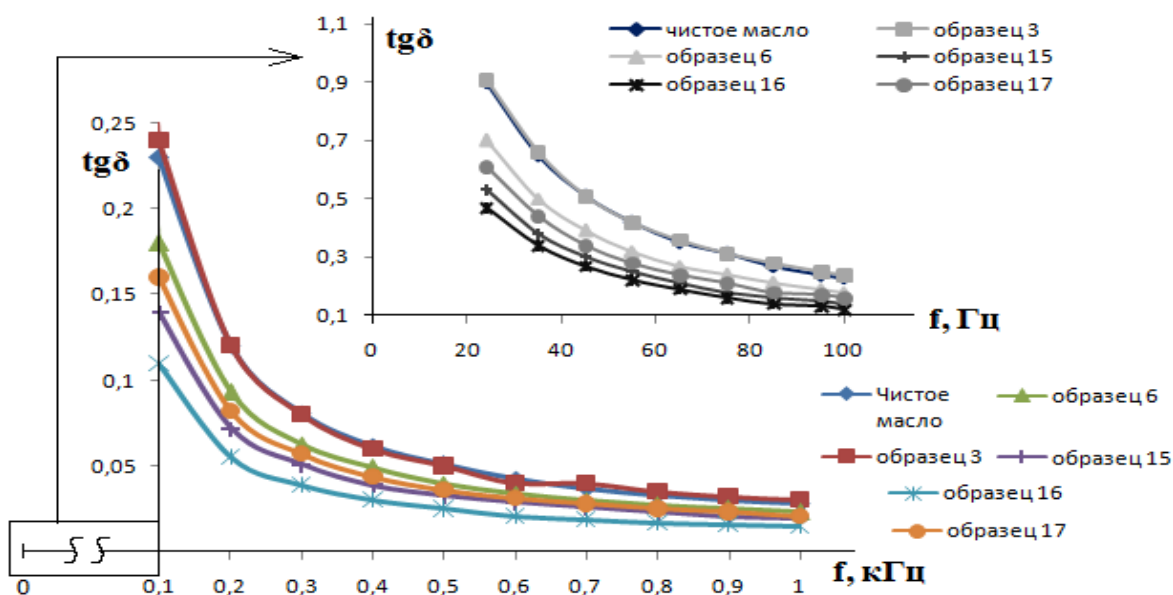


Рисунок 1 – Зависимость $\text{tg}\delta$ от частоты

На рисунке 2 представлена зависимость S_s от частоты, из которого видно, что в диапазоне частот от 25 Гц до 200 Гц S_s также как и $\text{tg}\delta$ обратно пропорционален частоте. Однако количественный разброс S_s существенно меньше количественного разброса $\text{tg}\delta$ и находится в пределах только 5%. При этом характерно, что качественное поведение $\text{tg}\delta$ и S_s совпадают.

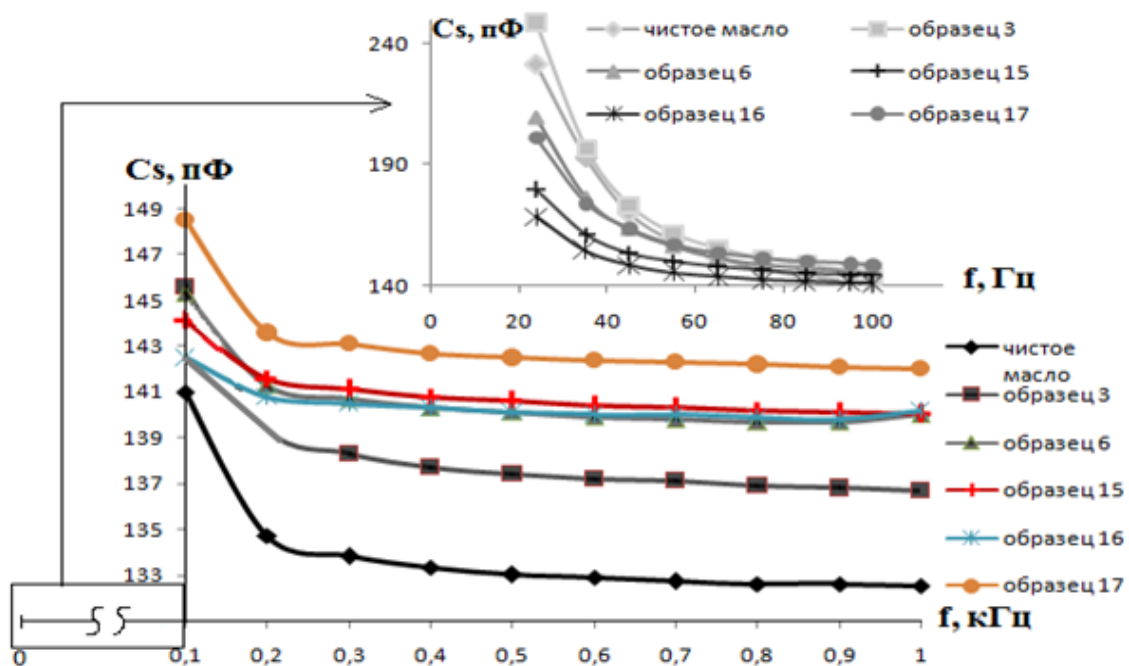


Рисунок 2 – Зависимость C_s от частоты

На рисунке 3 представлена зависимость $\text{tg}\delta$ от загрязненности для частоты 60 Гц (частота выбрана произвольно, хотя и соответствует средней частоте для рисунка 2 – вставка).

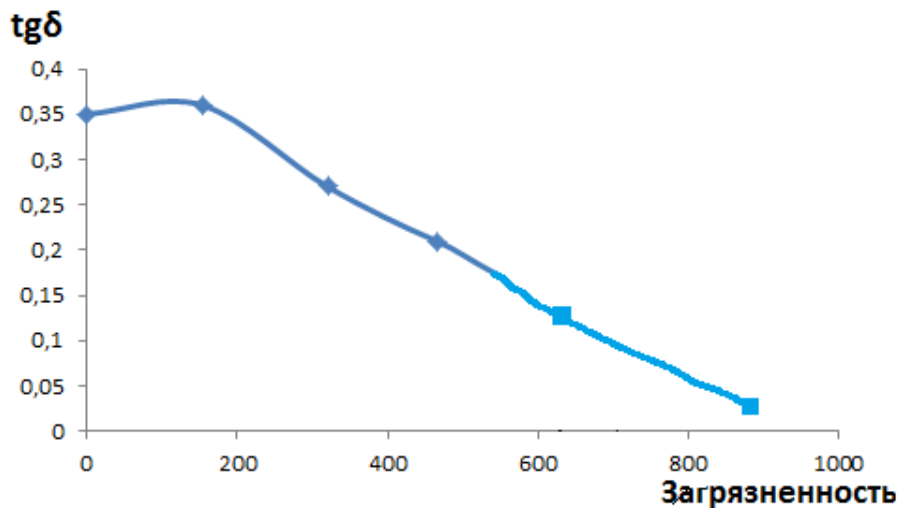


Рисунок 3 – Зависимость $\text{tg}\delta$ от загрязненности

Этот рисунок позволяет сделать следующее заключение: при увеличении загрязненности $\text{tg}\delta$ уменьшается по нелинейному закону. В диапазоне загрязненности от 0 до 200 единиц наблюдается незначительный, в пределах 10% , рост $\text{tg}\delta$, вероятно обусловленное испарением адсорбированной влаги, после чего $\text{tg}\delta$ уменьшается с ростом загрязненности.

При загрязненности около 600 единиц значение $\text{tg}\delta$ уменьшается примерно в 2 раза от исходного значения.

Ещё более информативным будет исследование изменений параметров масла работающей силовой установки во всём диапазоне рабочих температур, наряду с контролем и других параметров [4] – температуры, плотности, вязкости в процессе эксплуатации.

В результате подтверждена зависимость иммитансных параметров моторных масел от их старения (загрязнённости). Для получения устойчивых корреляционных зависимостей и определения уровней значимости параметров целесообразен расширенный натуральный эксперимент с использованием предложенного метода в составе системы мониторинга на выборке мобильных объектов.

Представленные выше результаты показывают, что в качестве датчика загрязненности масла М14В2 и др. исследованных масел аналогичного вида может быть успешно применен емкостной метод определения иммитансных характеристик.

Конструкция предложенного конденсатора позволяет при соответствующей доработке использовать его в качестве датчика, размещенного в магистралях подачи масла в механические системы дизельных двигателей, а также в магистралях отбора масла из механических систем и внутри их, а также в качестве секций датчиков измерения предельного уровня масел. Наиболее чувствительным параметром, отражающим уровень загрязненности масла М14В2, является $\text{tg}\delta$.

Литература

1. В.К.Миртов, П.Д.Мацкевич, А.И.Кузьмич // Информационные технологии и системы: материалы междунар. науч. конф. (ITS 2013), Минск, 23 октября 2013 г. – Минск, 2013. – С. 166–167.

2. ГОСТ Р МЭК 60247-2013. Жидкости изоляционные. Определение относительной диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$) и удельного сопротивления при постоянном токе.

3. Григоров А.Б., Карножицкий П.В., Слободской С.А. // Диэлектрическая проницаемость, как комплексный показатель, характеризующий изменение качества моторных масел в процессе их эксплуатации // Вестник НТУ «ХПИ». – 2006. – № 25. – С. 169–175.

4. А.И.Кузьмич, П.Д.Мацкевич, А.О.Огинский // Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ-БГУИР: материалы, Минск, 18-19 марта 2014 г. – Минск, 2014. – С. 521–522.

П.С. Богдан (БНТУ, Минск)
Науч. рук. **М.Г. Киселев**, д-р техн. наук, профессор

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТРЕЗНОГО ДИСКА В ПРОЦЕССЕ ЕЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ НА ЕГО РЕЖУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

Предшествующими экспериментальными исследованиями [1,2] установлено, что путем воздействия на металлическую поверхность электрическими разрядами ей можно придать режущую способность. Связано это с тем, что в результате электрической эрозии на ней образуются лунки, которые имеют по краям наплывы (валики) застывшего металла, выходящие за исходный контур поверхности. Таким образом, процесс модифицирования исходной рабочей поверхности режущих инструментов с использованием энергии электрических разрядов оправдано рассматривать как специфическую операцию заточки.

При этом очевидным ее достоинством является простота реализации: не требуется применение специального режущего инструмента и приспособлений, которые используются при выполнении традиционной операции заточки нового и переточки затупившегося режущего инструмента. Кроме того, для осуществления операции модифицирования поверхности с помощью ЭКО нет необходимости снятия режущего инструмента со шпинделя станка, то есть возможно осуществлять заточку прямо на рабочем месте.

Отсутствие необходимости перезакрепления дает заманчивую возможность осуществлять ЭКО рабочей поверхности инструмента прямо во время выполнения им операции резания, установив электрод-инструмент таким образом, чтобы он контактировал с модифицируемой поверхностью, не касаясь разрезаемой заготовки. Однако при этом движение обрабатываемой поверхности с высокой скоростью относительно электрода-инструмента может изменить характер их взаимодействия и повлиять на геометрию получаемого рельефа поверхности. В связи с этим возникла необходимость проведения экспериментальных исследований по оценке влияния относительной скорости движения электрода-инструмента и обрабатываемой поверхности на приобретаемую ей в результате ЭКО режущую способность.

Целью данной работы являлась разработка методики проведения таких исследований.

В качестве объекта исследования использовались диски из стали У8А диаметром 75 и толщиной 0,3 мм с центральным посадочным отверстием 16 мм. Диски в качестве исследуемого режущего

инструмента были выбраны благодаря возможности получения высоких скоростей вращения, а следственно и высоких окружных скоростей рабочей кромки диска.

Для выполнения экспериментов была создана специальная установка, схема которой приведена на рисунке 1.

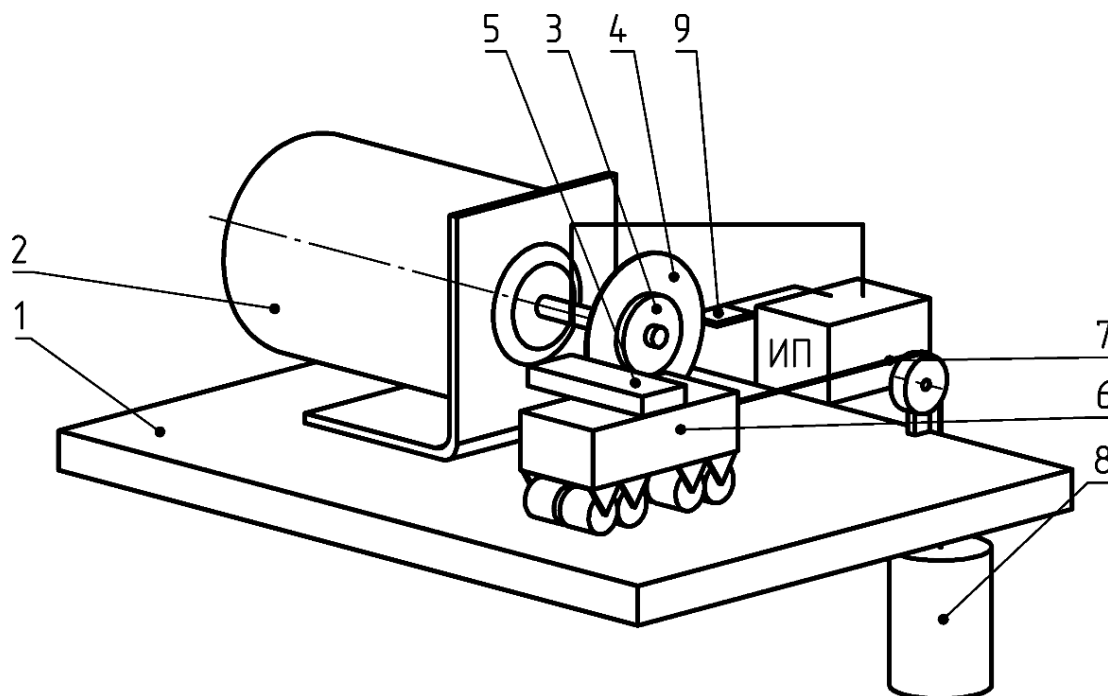


Рисунок 1 – Технологическая схема установки испытаний

На достаточно массивном для поставленных задач основании 1 закреплен высокооборотистый электродвигатель постоянного тока 2, на валу которого с помощью оправки 3 установлен и жестко закреплен используемый диск 4. Заготовка 5 закреплена на платформе 6, установленной на основании 1 с помощью направляющих качения. Платформа 6 нитью 7 связана со свободно висящим грузом 8.

Для осуществления электроконтактной обработки рабочей поверхности (режущей кромки) диска установка была оснащена специальной электрической схемой, состоящей из источника питания постоянного тока ИП (включающего в себя токоограничивающий резистора и накопительный конденсатор). Электрод-инструмент 9 в виде тонкой толщиной 0,3 мм стальной пластины подключается к отрицательному полюсу ИП, а диск с помощью токосъемного устройства – к положительному полюсу ИП, реализуя прямую полярность обработки.

С целью определения влияния окружной скорости вращения диска в процессе выполнения ЭКО его рабочей поверхности на режущую способность инструмента, вначале проводилось модифицирование рабочей поверхности дисков при различных значениях v_d , начиная с $v_d = 0$ до $v_d = 450$ м/мин. При $v_d = 0$ ЭКО поверхности диска осуществлялась

путем его поворота вручную с равномерным нанесением на ней лунок. Во всех остальных случаях вращение диска обеспечивалось от электродвигателя при соответствующей частоте его вращения. При этом ЭКО осуществлялось при постоянной частоте прерывания электрической цепи ($f = 1$ Гц), сообщаемой пластине вручную, и продолжалось до получения лунок по всей обрабатываемой поверхности диска.

Во всех случаях напряжение накопительного конденсатора было постоянным и составляло 75 В при его емкости 400 мкФ, диэлектрическая жидкость не применялась, то есть обработка осуществлялась на воздухе.

После ее завершения обработанный диск снимался и определялись параметры сформированных на его поверхности лунок. В частности, интерес представляли глубина лунки $h_{л}$, ее диаметр $d_{л}$, приращение толщины режущей кромки диска ΔB за счет образовавшихся по краю лунки наплывов металла.

После обмеров испытуемый диск вновь закреплялся на валу электродвигателя установки и проводились эксперименты по определению его режущей способности путем распиливания образца из текстолита с прямоугольным поперечным сечением 15x8 мм. При проведении экспериментов по распиливанию образца величина усилия прижатия была постоянной и составляла 2 Н. Частота вращения инструмента также была постоянной и составляла 1800 мин^{-1} , что соответствовало скорости $v_p=450$ м/мин. Его режущая способность оценивалась по значению интенсивности распиливания образца i , которая определялась отношением площади его распиленной поверхности F ко времени обработки t ($i = F/t$, $\text{мм}^2/\text{мин}$).

Литература

1. Определение эксплуатационных показателей отрезного диска с модифицированной путем электроконтактной обработки поверхностью / М. Г. Киселев [и др.] // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2015. – № 4(49). – С. 22–32.

2. Богдан, П. С. Технологические схемы получения и использования распиловочных дисков с модифицированной поверхностью / П. С. Богдан, М. Г. Киселев // Материалы IV Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники», Гомель, 15 апреля 2015 г. : в 3 т. / Гом. гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол.: А. В. Рогачев (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2015. – Т. 1. – С. 15–18.

3. Определение эксплуатационных показателей отрезного диска с модифицированной путем электроконтактной обработки поверхностью / М. Г. Киселев [и др.] // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2015. – № 4(49). – С. 22–32.

Н.В. Будников (МИЭМ НИУ ВШЭ, Москва)
Науч. рук. **Г.Н. Гольцман**, д-р физ.-мат. наук, профессор

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ В ДЕТЕКТОРАХ ТЕРА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Первая техника с использованием терагерцевых волн появилась во второй половине прошлого века, однако, только в современной радиоэлектронике ученые и инженеры смогли выявить наличие перспективных качеств данного вида электромагнитного излучения.

Частотный спектр ТГц волн определяется между инфракрасным и сверхвысокочастотным диапазонами, одним из ключевых преимуществ практического применения тера-излучения выступает его уникальная способность без затруднений проходить сквозь многие диэлектрики, вроде полимеров, а также недостаток энергии для ионизации атомов и молекул, что делает ТГц волны менее вредными при непосредственном контакте с тканями организма человека, чем рентгеновское излучение.

Очевидная польза практического применения терагерцевого излучения в медицине, системах обеспечения безопасности, астрофизике, химии и многих других сферах человеческой деятельности породила закономерный спрос на исследование и развитие этой области науки, поскольку производство терагерцевых компонентов все еще отличается повышенной сложностью и трудоемкостью процесса, а вследствие этого и высокой себестоимостью.

В настоящее время в детекторы тера-излучения внедряются углеродные нанотрубки, имеющие, к сожалению, низкую воспроизводимость и довольно длительный процесс изготовления, что откладывает возможность их широкого применения на срок устранения вышеописанных проблем. Прежние устройства детектирования, в которых используются нанотрубки, обычно включают в себя некоторое количество отдельных нанотрубок, случайным образом рассеянных на поверхности с предварительно сформированными электрическими контактами или электрическими контактами, наложенными на диспергированные нанотрубки. Оба способа вполне функциональны и неплохо себя зарекомендовали. Однако методами, которые используются сейчас, невозможно провести высокоточные измерения, и устройства, полагающиеся на них, не обладают той степенью чувствительности, которая возможна при внедрении нанотрубок.

Очевидно, что использование углеродных нанотрубок позволит решить ряд проблем, связанных с недостаточной точностью, необходимостью уменьшения габаритов устройств, и другими немаловажными факторами.

А.Ю. Валюк (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **В.В. Гаврилова**, магистрант техн. наук, ст. преподаватель

МАТЕРИАЛЫ С ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТЬЮ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ

Солигорский калийный комбинат для транспортировки калийной соли использует ленточные конвейеры с роликовыми опорами, которые испытывают постоянные нагрузки. В шахтном производстве для изготовления элементов роликоопор применяют материалы с повышенной устойчивостью к горению. Однако, в ряде случаев использование труднгорючих полимерных композитов не обеспечивает достижения полноценной альтернативы металлическим материалам.

Статистика показывает, что причиной пожаров в подавляющем большинстве случаев является возгорание органических полимерных материалов от таких маломощных источников, как искры, возникающие при разрядах статического электричества. Поэтому снижение воспламеняемости полимеров является важной задачей в общей проблеме снижения пожароопасности материалов. Для этого применяют композиционные материалы с пониженной горючестью, содержащие антипирены – вещества, способные ингибировать процесс горения.

Целью данной работы являлось изучение деформационно-прочностных характеристик материалов с пониженной горючестью на основе вторичных модифицированных термопластов.

Для проведения испытаний были изготовлены смеси из полипропилена (ПП) вторичного производства Польша, «Белвтрполимер» с модификаторами. В качестве модификаторов использовали фосфогипс (ФГ) и термоэластопласт (ТЭП). Смеси активировали в лопастном смесителе. На термопластавтомате марки ENGEL Victory 650/160 были изготовлены образцы для испытаний.

Деформационно-прочностные испытания проводили на разрывной машине ИР 5047-50 с наибольшей нагрузкой 50 кН, предназначенной для испытаний на растяжение и сжатие образцов из металлов, пластмасс и резины в соответствии с ГОСТ 4651-2014.

Составы композитов и результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что для достижения повышенных параметров деформационно-прочностных характеристик целесообразно совместное введение фосфогипса и термоэластопласта (ТЭП) на основе полиолефинов.

Таблица 1 – Результаты деформационно-прочностных испытаний композиций с ФГ

Состав композиции	Результаты испытаний		
	Прочность при заданной деформации $\sigma_{сж}$, МПа	Прочность при разрыве σ_r , МПа	Относительное удлинение δ , %
ПП (П) + ФГ (1%)	31,32	23,325	21,9
ПП (П) + ФГ (5%)	34,68	24,675	14,81
ПП (П) + ФГ (10%)	34,773	19,225	16,49
ПП (БП) + ФГ (1%)	41,08	31,975	14,61
ПП (БП) + ФГ (5%)	43,54	30,95	14,44
ПП (БП) + ФГ (10%)	41,473	27,625	13,63
ПП (СП) + ФГ (1%)	31,1	22,9	2,99
ПП (СП) + ФГ (5%)	31,107	21,65	2,67
ПП (СП) + ФГ (10%)	52,107	23,5	2,48
ПП (ПН) + ФГ (1%)	39,027	27,125	12,76
ПП (ПН) + ФГ (5%)	38,7	22,675	14,11
ПП (ПН) + ФГ (10%)	41,6	25,525	12,28

Таблица 2 – Результаты деформационно-прочностных испытаний образцов композиций от содержания ТЭП и ФГ

Состав композиции	Результаты испытаний		
	Прочность при заданной деформации $\sigma_{сж}$, МПа	Прочность при разрыве σ_r , МПа	Относительное удлинение δ , %
ПП (П) + ТЭП (10%) + ФГ (5%)	32,527	23,025	15,92
ПП (П) + ТЭП (10%) + ФГ(10%)	31,473	19,225	17,26
ПП (П) + ТЭП (20%) + ФГ (5%)	27,8	17,05	21,45
ПП (П) + ТЭП (20%) + ФГ(10%)	25,12	16,825	21,3
ПП (БП) + ТЭП (10%) + ФГ 5%)	39,66	23,575	15,41
ПП (БП) + ТЭП (10%) + ФГ(10%)	42,927	29,35	16,25
ПП (БП) + ТЭП (20%) + ФГ (5%)	35,373	21,6	13,81
ПП (БП) + ТЭП (20%) + ФГ(10%)	32,94	20,25	12,57
ПП (СП) + ТЭП (10%) + ФГ (5%)	45,293	21,075	3,05
ПП (СП) + ТЭП (10%) + ФГ(10%)	19,85	19,85	2,32
ПП (СП) + ТЭП (20%) + ФГ (5%)	17,733	18,225	2,82
ПП (СП) + ТЭП (20%) + ФГ(10%)	20,653	20,2	2,21
ПП (ПН) + ТЭП (10%) + ФГ (5%)	36,947	25,025	16,92
ПП (ПН) + ТЭП (10%) + ФГ(10%)	33,907	25,85	9,95
ПП (ПН) + ТЭП (20%) + ФГ (5%)	32,787	20,95	15,93
ПП (ПН) + ТЭП (20%) + ФГ(10%)	28,78	19,425	18,56

Использование для изготовления обечайки и корпуса подшипника трудногорючих полимерных композитов на основе регенерированного полипропилена, позволит применять металлополимерные роlikоопоры в технологических операциях добычи минерального сырья при шахтном способе.

Учитывая более высокую технологичность изготовления полимерных элементов роlikоопоры и их низкую себестоимость по сравнению с металлическими, целесообразно расширенное их применение на предприятиях горнодобывающей, строительной, нефтехимической и перерабатывающей отраслей промышленности.

Литература

1. Приседский, Г.В. Исследование подвесных роlikоопор с деталями из полимерных материалов / Г.В. Приседский, В.С. Бондарев, Ф.М. Шорсгкий // Горнотранспортное оборудование карьеров. – Киев: Техника, 1974. – С. 94–103.

2. Фильченкова А.Ф. Дифференциально-термический анализ и его применение для исследования процесса термического разложения материалов / А.Ф. Фильченкова // В кн. : Высокотемпературный тепло – и массоперенос. – Мн.: ИТМО АН БССР, 1975, с. 71–92.

3. Охлопкова, А.А. Наноккомпозиты на основе политетрафторэтилена, модифицированного бинарным наполнителем / А.А. Охлопкова, Т.С. Стручкова // Поликомтриб-2009: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Гомель, 2009. – С. 171–172.

4. Бузник, В.М. Металлополимерные наноккомпозиты (получение, свойства, применение) / В.М. Бузник [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 260 с.

И.В. Гаврилик (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **Г.А. Костюкович**, канд. техн. наук, профессор

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ШТАМПОВКИ КОРПУСОВ АМОРТИЗАТОРОВ

К числу наиболее перспективных направлений изготовления цилиндрических заготовок относится холодная штамповка, в частности, вытяжка с утонением стенки. Среди преимуществ вытяжки с утонением можно отметить низкую энергоемкость, высокую точность и качество поверхностей изготавливаемых деталей, возможность формирования требуемых эксплуатационных свойств в готовых изделиях. Недостатком вытяжки является возникновение осевых растягивающих напряжений,

способствующих развитию деформационной повреждаемости материала [1, 3]. Развитие и возможное слияние пор может приводить к образованию полостных дефектов, которые снижают прочностные свойства (предел прочности, предел текучести) материала готовых изделий. В связи с этим возникает научная задача по разработке рекомендаций, направленных на повышение качества изделий при интенсификации процессов вытяжки с утонением цилиндрических заготовок в многооперационной технологии путем технологического обеспечения формирования требуемых механических свойств, в том числе и деформационной повреждаемости.

Обычно утонение стенок за один проход не превышает 30–35 % начальной толщины, что обеспечивается соответствующим выбором зазора между пуансоном и матрицей. При вытяжке с утонением толщина дна изделия не изменяется. Эту операцию можно осуществлять в нескольких матрицах, расположенных последовательно одна за другой.

Вытяжка с утонением осуществляется протягиванием заготовки в виде колпачка (полученного вытяжкой или каким-либо другим способом) через матрицу, при этом зазор z между пуансоном и матрицей должен быть меньше толщины стенки заготовки $z = (D_M - D_n)/2 < s$. Данным способом вытяжки получают детали с полем допуска h_9-h_{12} . Допуск на толщину стенки составляет 15–25 % номинальной толщины стенки, допуск на высоту полуфабриката до 15 % его высоты. В процессе вытяжки с утонением происходит уменьшение первоначальной толщины стенки заготовки при относительно небольшом уменьшении ее диаметра. За одну операцию можно получить полуфабрикат значительно большей высоты, чем при вытяжке без утонения. При вытяжке с утонением очаг пластической деформации находится в зоне уменьшения толщины заготовки.

В работе разработан технологический процесс холодной штамповки цилиндра амортизатора квадроцикла ATV-800 (рисунок 1).

Для изготовления детали корпус подшипника, применяли штамп для холодного выдавливания за один ход пресса. На рисунке 2 изображена инструментальная наладка для вытяжки с утонением стенок. Наладка имеет следующие особенности: пуансон 15 соединяется при помощи детали соединительной 17 со штоком 16; матрицы вставлены в вытяжные кольца 6–9. Составная матрица более стойка, ее более просто изготовить и термически обработать.

Зазор между пуансоном и матрицей меньше толщины стенки заготовки, поэтому при вытяжке происходит утонение и полуфабрикат плотно охватывает пуансон. Штамп имеет несколько матриц, при прохождении пуансона вместе с заготовкой сквозь них, заготовка приобретает необходимую форму и размеры.

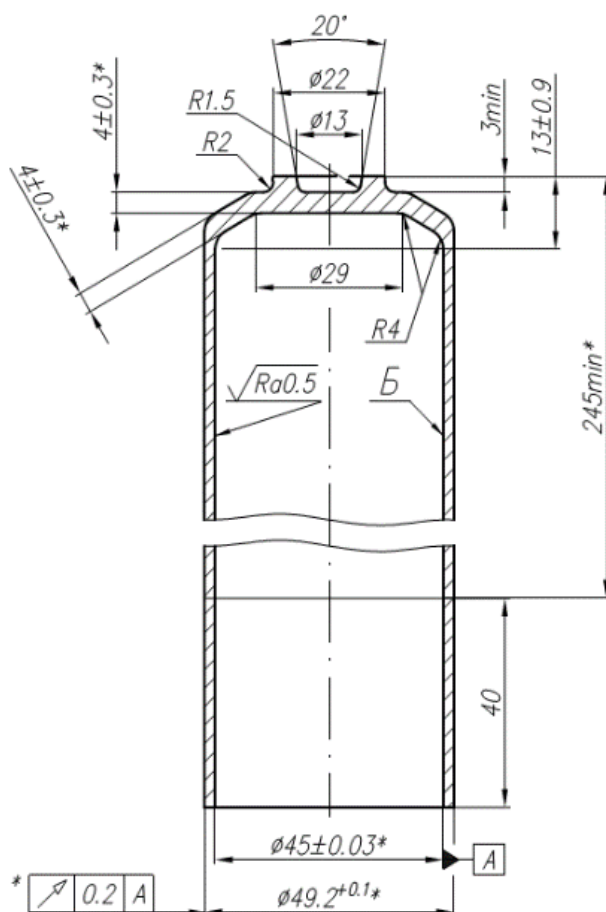
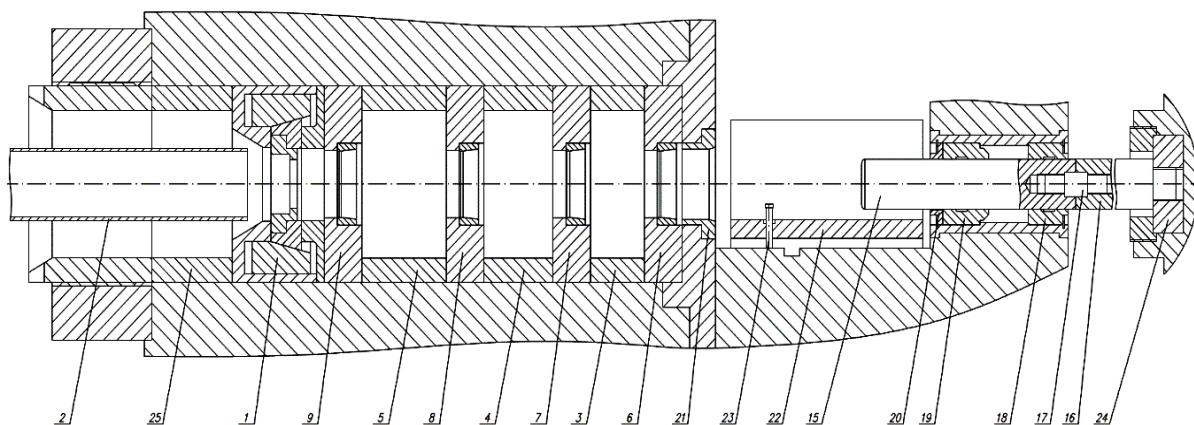


Рисунок 1 – Эскиз детали. Заготовка: $\text{É}\text{đ}\text{ó}\text{ã}$ $\frac{63,1\text{-h11}\ \text{Ã}\text{Î}\ \text{Ñ}\text{Ò}\ 7417\text{-}75}{11\text{P}\ \text{A}\text{-}\text{Á}\text{Ö}\text{Ö}\ 14\text{-}1\text{-}3455\text{-}82}$



1 – устройство съемное; 2 – труба выходная; 3-5 – кольцо распорное;
 6-9 – кольцо вытяжное; 15 – пуансон; 16 – шток; 17 – деталь соединительная;
 18-19 – кольцо направляющее; 20 – кольцо упорное; 21 – втулка входная;
 22 – фиксатор; 23 – штифт контрольный; 24 – гайка; 25 – кольцо

Рисунок 2 – Инструментальная наладка для вытяжки корпуса амортизатора

Для облегчения съема рабочую часть пуансона делают слегка конусной (угол конусности $1-1^{\circ}30'$), поверхность пуансона полируют. Для устранения вакуума, образующегося при съеме полуфабриката с пуансона, в нем предусматривают центральное отверстие, сообщающееся с атмосферой.

Зазор между пуансоном и матрицей оказывает значительное влияние на качество изделия, так как толщина стенок детали определяется величиной этого зазора. По мере износа рабочих частей будут изменяться размеры изделия. Поэтому при проектировании рабочих частей штампов для вытяжки нужно задать основные размеры и допуски на их изготовление такими, которые оставляли бы достаточно большой запас на износ рабочей формы в процессе эксплуатации штампа без ущерба для его стойкости и качества деталей.

Корпус амортизатора изготавливается из конструкционной углеродистой высококачественной легированной бором стали 11ЮА-Б ТУ 14-1-3455-82.

Сталь 11ЮА применяется: для изготовления калиброванных обточенных прутков диаметром 20–60 мм; горячекатаного полосового проката предназначенного для изготовления плакированных полос методом горячей прокатки; холоднокатаной ленты толщиной 1–37 мм и шириной 122–160 мм, предназначенной для изготовления деталей методом глубокой вытяжки. Сталь марки 11ЮА может быть изготовлена с дополнительным микролегированием ванадием, титаном и бором.

В настоящей работе разработан технологический процесс холодной штамповки корпуса амортизатора квадроцикла ATV-800, оснастка для холодной штамповки корпуса амортизатора с выполнением необходимых расчетов, определена марка материала корпуса амортизатора, рассчитаны норма расхода материала, количество оборудования и рабочего времени.

Литература

1. Попов, Е.А. Технология и автоматизация листовой штамповки / Е.А. Попов, В.Г. Ковалев, И.Н. Шубин. – М.: Издательство МГТУ им. Баумана. – 2000. – 480 с.
2. Орлов, П.Г. Штамповка деталей на листоштамповочных автоматах / П.Г. Орлов. – М.: Машиностроение. – 1984. – 160 с.
3. Шухов, Ю.В. Холодная штамповка / Ю.В. Шухов, С.А. Еленев. – М.: Высшая школа. – 1972. – 208 с.

Ю.С. Гайдук (УО «БГУ», Минск)
Науч. рук. А.А. Савицкий, канд. хим. наук, доцент

МИКРОМОЩНЫЕ ГАЗОВЫЕ ДАТЧИКИ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ВОЛЬФРАМА И ЕГО КОМПОЗИЦИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

Полупроводниковые датчики дают возможность проводить анализ концентрации химического компонента в газовых смесях. В данной работе впервые изучены полупроводниковые микромощные газовые датчики, содержащие в качестве чувствительного слоя полученную золь-гель-методом оксидную композицию $WO_3-Co_3O_4$, а также композицию WO_3 с многостенными углеродными нанотрубками (МУНТ), полученными в плазме высоковольтного разряда атмосферного давления в Институте тепло- и массообмена НАН Беларуси.

Методика эксперимента. Вольфрамовая кислота получена капельным добавлением 1,23 М р-ра вольфрамата натрия в 12М р-р азотной кислоты. При термическом разложении геля образуется нанокристаллический триоксид вольфрама.

Оксид кобальта Co_3O_4 получали осаждением 9,24 М р-ром аммиака оксидных соединений кобальта из 2,3 М р-ра $Co(NO_3)_3 \cdot 7H_2O$, отжиг смеси выше 200 °С приводил к получению Co_3O_4 .

Микромощные газовые датчики представляют собой разваренный в стандартный корпус микрокристалл, сформированный фотолитографическим методом на пластинах анодированного алюминия (1,3×1,3 мм и более). На противоположных поверхностях сформированы измерительные Pt-электроды и нагреватель. Чувствительные элементы (ЧЭ) после нанесения капельным методом в виде золя отжигали 72 ч при 450–600 °С (толщина слоя 20–25 мкм) (рисунок 1).

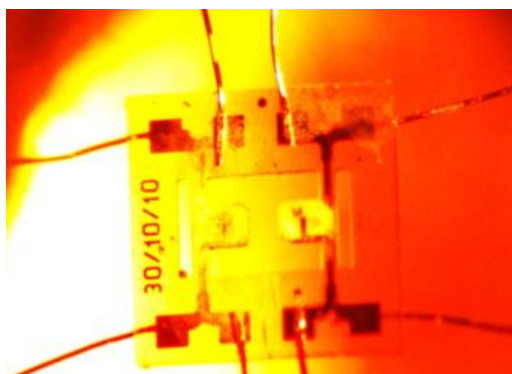


Рисунок 1 – Внешний вид кристалла микромощного газового датчика с газочувствительным слоем на основе оксида вольфрама

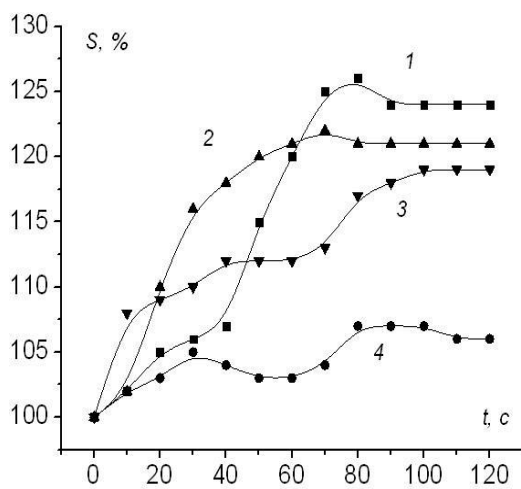
Технология изготовления датчиков и методики исследований приведены в [1]. Выходной сигнал сенсора $S = \Delta U$, представлял собой падение напряжения на датчике при изменении состава газовой смеси.

Обсуждение результатов. По данным РФА, высушенный при 20 °С ксерогель, полученный по описанной выше методике, представляет собой гидратированную вольфрамную кислоту ($\text{H}_2\text{WO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$). В процессе последующей термообработки (2 ч) в области температур 200 – 800 °С формировалась моноклинная структура WO_3 с ОКР от 6–7 Å при 200 °С до ~ 20 Å при 800 °С. Проведение золь-гель синтеза WO_3 аналогичным образом с дополнительным применением ультразвукового воздействия (ванна с частотой 29 кГц) приводит к формированию уже в высушенном при комнатной температуре ксерогеле смеси вольфрамной кислоты и наночастиц WO_3 . После сушки ксерогеля при 600 °С (2 ч) формируется моноклинный WO_3 с ОКР 14÷15 Å, что на 15÷20 % меньше, чем в отсутствие ультразвукового воздействия. В процессе синтеза Co_3O_4 ультразвуковое сопровождение в аналогичных условиях термообработки приводило к снижению ОКР с 25 до 5÷6 Å. В случае CoOOH (отжиг 2 ч при 180 °С, при более высокой температуре соединение разлагается) изменения ОКР обнаружить не удалось.

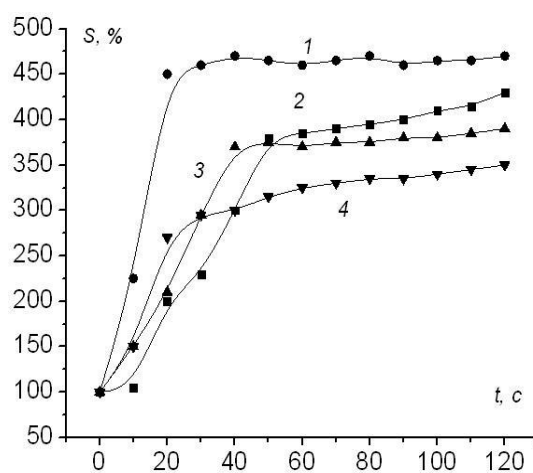
Рентгенографические исследования образцов Co_3O_4 , показали формирование на стадии сушки при 20 °С ксерогеля слабокристаллизованной смеси гидроксосоединений кобальта. Отжиг при 200–800 °С приводил к образованию Co_3O_4 с ОКР 7÷40 Å при 200÷800 °С. При отжиге WO_3 (650 °С, 2 ч), содержащего 5 и 15 % Co_3O_4 , получали гетерогенный материал, содержащий соединение CoWO_4 . Увеличение содержания оксида кобальта в исходной смеси от 25 масс. % и выше, приводит также к обнаружению фазы Co_3O_4 .

Полупроводниковый слой из чистого WO_3 показал чувствительность к NO_2 и CO ($S = 150$ % и 110 % соответственно) при токе нагрева 41 мА (236 °С). Однако введение в состав ЧЭ добавки оксида кобальта Co_3O_4 приводит к увеличению чувствительности к обоим газам, причем к NO_2 – в наибольшей степени. Так, для смешанной композиции WO_3 и Co_3O_4 (5 % мас.) чувствительность к 2 ppm NO_2 составила около 560 % при токе нагрева 31 мА ($T < 200$ °С). (рисунок 1).

ЧЭ получали смешением золь WO_3 и Co_3O_4 (с последующим отжигом при 650 °С) или введением предварительно отожжённого Co_3O_4 в золь WO_3 с последующей гомогенизацией ультразвуком (29 кГц, 1 ч). В первом случае изменение газочувствительных свойств WO_3 связано с появлением фазы CoWO_4 . Более существенное увеличение чувствительности к NO_2 наблюдалось во втором случае, при введении отожжённого при 800 °С Co_3O_4 в золь WO_3 . В этом случае механизм детектирования следует связывать с разделением рецепторной преобразовательной функций датчика между фазами WO_3 и Co_3O_4 , которые сохраняются и в ЧЭ.



а)



б)

Рисунок 2 – Чувствительность S , %:

- а) WO_3 : 1–3,6 ppm C_3H_8 , $I = 61$ мА;
 2–4 ppm NO_2 , 55 мА; 3 – 2,8 ppm CO , $I = 41$ мА; 4–2 ppm NO_2 , 41 мА.
 б) 1 – $WO_3 + 1,5$ % мас. МУНТ, 3,6 ppm C_3H_8 , $I = 41$ мА;
 2 – $WO_3 + 5$ % мас. Co_3O_4 , 2 ppm NO_2 , $I = 31$ мА;
 3 – $WO_3 + 1,5$ % мас. МУНТ, 3,6 ppm C_3H_8 , $I = 51$ мА, 4 – $WO_3 + 1,5$ %
 мас. МУНТ, 3,6 ppm C_3H_8 , $I = 61$ мА

Добавка МУНТ в количестве 1,5 % мас., приводит к возрастанию чувствительности к NO_2 и, особенно, C_3H_8 (C_3H_8 – до 500 % при токе нагрева 41 мА, NO_2 – до 300 % при токе нагрева 61 мА). (рис. 2).

Датчики с ЧЭ на основе $WO_3-Co_3O_4$ пригодны для применения в составе приборов экологического мониторинга для детектирования NO_2 (предел обнаружения $\ll 1$ ppm, рабочая температура < 200 °С, низкая чувствительность к газам-восстановителям). Композиция WO_3 –МУНТ представляет интерес для создания чувствительных датчиков горючих газов. Все исследованные датчики обладают низким энергопотреблением (25 – 85 мВт). Введение Co_3O_4 приводит к возрастанию сопротивления WO_3 , введение МУНТ (до 1,5 % мас.) и солей Pd, Ag (0,5 % мас. и выше) – к снижению электрического сопротивления чувствительного слоя.

Литература

1. Гайдук Ю.С. Физико–химические свойства оксидной композиции $WO_3-Co_3O_4$, полученной золь-гель методом / Ю. С. Гайдук, В.В. Ломоносов, А.А. Савицкий // Весці НАНБ. Серія хім. – 2014. – № 2. – С. 9–13.

А.И. Грицкевич (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **В.В. Гаврилова**, магистр. техн. наук, ст. преподаватель

МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ РЕГЕНЕРИРОВАННЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Переработка вторсырья позволяет обеспечить решение двух задач: экологической – утилизация производственных и бытовых отходов; удешевления – вторичный полипропилен, переработанный в гранулы, является отличным недорогим сырьем, позволяющим намного снизить конечную себестоимость готового продукта, делая его, таким образом, конкурентно способным.

Солигорский калийный комбинат для транспортировки калийной соли использует ленточные конвейеры с роликовыми опорами. Ленточные конвейеры испытывают постоянные нагрузки и работают в химически агрессивных и абразивных средах, а так же в средах с повышенным содержанием влаги и пыли. Комплектующие детали роликов реагируют с этими средами и за короткий промежуток времени выходят из строя, клинят, создавая аварийную ситуацию, режут транспортную ленту.

Целью данной работы являлась разработка композиционных материалов с повышенными деформационно-прочностными характеристиками на основе регенерированных модифицированных термопластов.

Для проведения испытаний были изготовлены смеси из полипропилена (ПП) вторичного производства Польша, «Белвторполимер» с модификаторами. В качестве модификаторов использовали ультрадисперсный политетрафторэтилен (УПТФЭ) и термоэластопласт (ТЭП). Смеси активировали в лопастном смесителе. На термопластавтомате марки ENGEL Victory 650/160 были изготовлены образцы для испытаний.

Деформационно-прочностные испытания проводили на разрывной машине ИР 5047-50 с наибольшей нагрузкой 50 кН, предназначенной для испытаний на растяжение и сжатие образцов из металлов, пластмасс и резины в соответствии с ГОСТ 4651-2014.

Составы композитов и результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Анализ результатов исследований деформационно-прочностных характеристик свидетельствует о существенном влиянии модифицирующих компонентов. Наноразмерные частицы УПТФЭ при малых («допинговых» [1]) содержаниях повышают значения параметров σ_p и $\sigma_{ж}$. Отмеченные эффекты коррелируют с представлениями, изложенными в [1] и другими литературными источниками [2–4].

Таблица 1 – Результаты деформационно-прочностных испытаний композиций с УПТФЭ

Состав композиции	Результаты испытаний		
	Прочность при заданной деформации $\sigma_{сж}$, МПа	Прочность при разрыве σ_r , МПа	Относительное удлинение δ , %
ПП (П) + УП (0,5%)	32,94	25,7	14,82
ПП (П) + УП (1%)	35,293	23,45	11,45
ПП (П) + УП (5%)	36,773	25,85	15,15
ПП (БП) + УП (0,5%)	48,16	31,025	13,61
ПП (БП) + УП (1%)	52,42	34,325	14,45
ПП (БП) + УП (5%)	48,7	30,25	13,6
ПП (СП) + УП (0,5%)	6,1067	26,825	3,73
ПП (СП) + УП (1%)	5,5467	25,4	3,64
ПП (СП) + УП (5%)	4,4	25,525	3,98
ПП (ПН) + УП (0,5%)	42,407	27,775	12,96
ПП (ПН) + УП (1%)	43,687	26,75	13,44
ПП (ПН) + УП (5%)	40,547	27,875	13,11

Таблица 2 – Результаты деформационно-прочностных испытаний образцов композиций от содержания ТЭП

Состав композиции	Результаты испытаний		
	Прочность при заданной деформации $\sigma_{сж}$, МПа	Прочность при разрыве σ_r , МПа	Относительное удлинение δ , %
ПП (П) + ТЭП (5%)	33,433	22,675	15,66
ПП (П) + ТЭП (10%)	30,493	21,125	20,23
ПП (П) + ТЭП (20%)	25,673	16,475	22,92
ПП (П) + ТЭП (30%)	19,72	21,2	25,96
ПП (БП) + ТЭП (5%)	44,46	30,85	15,28
ПП (БП) + ТЭП (10%)	44,127	30,475	15,28
ПП (БП) + ТЭП (20%)	36,32	22,15	15,76
ПП (БП) + ТЭП (30%)	30,087	22,2	21,3
ПП (СП) + ТЭП (5%)	13,54	22,675	2,99
ПП (СП) + ТЭП (10%)	8,24	24,45	3,16
ПП (СП) + ТЭП (20%)	7,3	22,975	3,31
ПП (СП) + ТЭП (30%)	6,5	21,075	3,49
ПП (ПН) + ТЭП (5%)	40,793	23,75	12,88
ПП (ПН) + ТЭП (10%)	35,18	26,225	15,57
ПП (ПН) + ТЭП (20%)	31,147	26,925	12,81
ПП (ПН) + ТЭП (30%)	25,073	18,35	14,16

Полученные экспериментальные данные позволяют осуществить обоснованный выбор составов композиционных материалов для изготовления элементов металлополимерных роlikоопор ленточных конвейеров.

Литература

1. Авдейчик, С.В. Введение в физику наноконпозиционных машиностроительных материалов / С.В. Авдейчик [и др.]; под науч. ред. В.А. Лиопо, В.А. Струк. – Гродно: ГГАУ, 2009. – 439 с.

2. Лиопо, В.А. Механизм формирования структуры наноконпозиционных материалов на основе полимерных и олигомерных матриц / В.А. Лиопо, [и др.] // Прогрессивные машиностроительные технологии: том 2 монографии. – М.: Изд. Дом Спектр, 2012. – Разд. 4. – С. 159–248.

3. Лиопо, В.А. Зависимость физических величин от размеров частиц в нанодиапазоне / В.А. Лиопо [и др.] // Вестник ГрГУ. – 2009. – Сер. 2, № 2. – С. 60–67.

4. Лиопо, В.А. Оценка размерных неоднородностей наноразмерных модификаторов / В.А. Лиопо [и др.] // Вестник ГрГУ. – 2011. – Сер. 6, № 1. – С. 13–18.

М.П. Ермоленко (УО «ГрГУ им. Янки Купалы», Гродно)

Науч. рук. **В.Г. Сорокин**, ст. преподаватель

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО ПОЛИМЕРНОГО СЫРЬЯ

Экспериментально доказан факт промышленного производства высококачественных изделий из регенерированного сырья. Предложено использование регенерированных полимерных материалов на основе полиолефинов (ПЭНД, ПП) для изготовления газонной решетки. Проведены испытания регенерированных материалов и композитов из полимеров на реологические и деформационно-прочностные характеристики.

Технология производства изделий из полимерных термопластичных материалов, как правило, предполагает, что некоторая доля исходного полуфабриката не будет использована. Величина этой доли определяется конструктивными особенностями продукции, технологической оснастки, функциональными возможностями оборудования, опытом персонала и качеством исходных компонентов [1]. При традиционной технологии переработки пластических масс неполное использование

сырья – устоявшаяся норма. Общепринятый термин «технологические отходы» в ряде случаев рассматривается как неизбежный атрибут современной технологии пластмасс, обуславливающий необходимость разработки методов их переработки и повторного использования – рециклинга.

Экспериментально доказан факт промышленного производства высококачественных изделий из регенерированного сырья, полученного из амортизированных древесины, термопластов, минерального сырья и т. п. [2]. В ряде случаев при использовании регенерированного сырья возможно не только достижение характеристик изделий из исходного полимерного сырья, но и получение их принципиально нового сочетания. Таким образом, технология полимерных материалов требует проведения системного анализа различных аспектов процессов переработки сырья, эксплуатации изделий, их рециклинга с учетом современных достижений физикохимии и материаловедения [3].

Предложено использование регенерированных полимерных материалов на основе полиолефинов (ПЭНД, ПП) для изготовления газонной решетки, которая будет служить для укрепления грунта и защиты травяного покрытия от вытаптывания и даст возможность превратить газон в «зеленую» парковку или пешеходную зону.

Объектом исследования в представленной работе взята газонная решётка (рисунок 1).

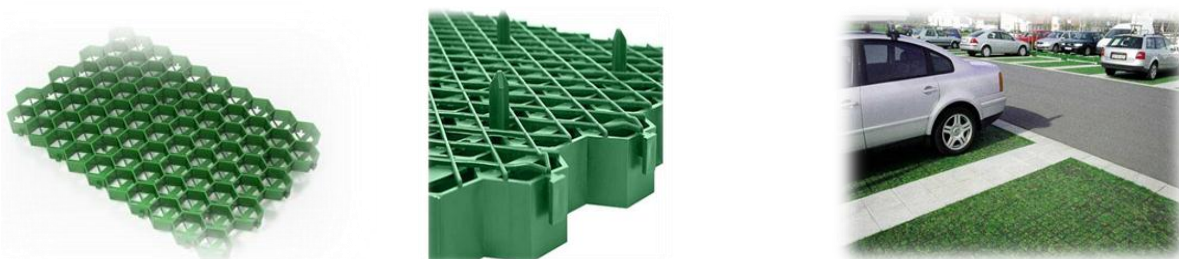


Рисунок 1 – Общий вид газонной решётки

Для изготовления газонной решётки выгодно использовать вторичное сырье. Поэтому для исследований были взяты следующие композиционные материалы: вторичный ПЭНД (ВПЭНД); вторичный ПП (ВПП); ВПЭНД+20 % ВПП; ВПП+5 % ВПЭНД; 30 % ВПП+ВПЭНД; 40 % ВПП + ВПЭНД.

С целью выбора оптимального варианта для производства элементов зелёной парковки произведена оценка изменения показателя текучести расплава (ПТР) вторичного ПЭНД, вторичного ПП также композиционных материалов на их основе. Показатели текучести расплава измеряли на приборе ИИРТ – 119 при температуре 250 °С и нагрузке

2,16 кгс, время между отсечениями 10 с. По результатам испытаний определено, что наиболее технологичные материалы для производства элементов зелёной парковки – ВПЭНД, ВПП и композиты ВПЭНД+20 % ВПП, ВПП+5 % ВПЭНД.

Проведены испытания материалов и композитов из полимеров на деформационно-прочностные характеристики, по результатам которых можно предложить для производства элементов «Зелёная парковка» следующие материалы на основе регенерированного сырья: ВПЭНД, ВПП и композиты на их основе: ВПП+5 % ВПЭНД, ВПЭНД+20 % ВПП.

С использованием программных продуктов Компас-3D и SolidWorks в курсовой работе разработана 3D модель ячейки для элемента зелёной парковки (рисунок 2).

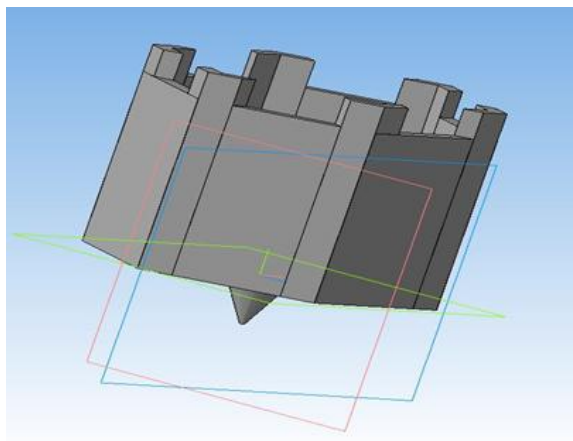


Рисунок 2 – 3D модель ячейки элемента «Зелёная парковка»

Используя метод прототипирования и 3D разработки модели ячейки, на 3D принтере изготовлены модели элементов «Зелёная парковка».

Литература

1. Чекель, А.В. Технология многоуровневого рециклинга амортизированных изделий из термопластов / А.В. Чекель, А.Р. Ширан, В.А. Струк, С.В. Авдейчик, В.В. Андрикевич // Материалы 6-й международной конференции «Poljmers LLS», Харьков, 2009. – 127 с.
2. Производство изделий из полимерных материалов: учеб. пособие / В.К. Крыжановский [и др.]. – СПб : Профессия, 2004. – 464 с.
3. Материаловедение в машиностроении и промышленных технологиях: учебно-справочное руководство / В.А. Струк [и др.] – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2010. – 536 с.

М.А. Жафар (УО «БГУИР», Минск)
Науч. рук. **И.В. Боднарь**, д-р хим. наук, профессор

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ $\text{CuFeIn}_7\text{S}_{12}$

Разбавленные магнитные полупроводники типа $\text{AB}^{\text{III}}_2\text{C}^{\text{VI}}_4$ (А – Mn, Fe, Co, Ni; B^{III} – Ga, In; C^{VI} – S, Se, Te) в последнее время привлекают к себе пристальное внимание, что связано с возможностью использования их в спинтронике, нано- и микроэлектронике. В настоящей работе представлены результаты исследования структуры и теплового расширения монокристаллов $\text{CuFeIn}_7\text{S}_{12}$.

Монокристаллы выращивали методом Бриджмена из поликристаллических слитков, полученных двухтемпературным методом из элементарных компонентов (медь, железо, индий и сера) полупроводниковой степени чистоты. Полученные поликристаллические слитки измельчали и загружали в двойные кварцевые ампулы, из которых внутренняя ампула заканчивалась цилиндрическим капилляром, который обеспечивал формирование монокристаллической затравки. К наружной ампуле снизу приваривали кварцевый стержень, служивший держателем. После вакуумирования ампулы до остаточного давления $\sim 10^{-3}$ Па ее помещали в вертикальную однозонную печь с заданным температурным градиентом в которой проводили выращивание монокристаллов. Температуру печи повышали до ~ 1420 К и, для гомогенизации расплава, выдерживали при этой температуре 2 ч. После указанного времени выдержки, проводили направленную кристаллизацию расплава, понижая температуру печи со скоростью ~ 2 К/ч до полного затвердевания расплава. Для гомогенизации полученных слитков их отжигали при 1020 К в течение 720 ч. Выращенные в таких условиях монокристаллы имели диаметр ~ 16 мм и длину ~ 45 мм, были однородными и гомогенными, что было установлено методами микрорентгеноспектрального и рентгеновского анализов.

Состав выращенных монокристаллов определяли с помощью микрозондового рентгеноспектрального анализа. Результаты микрозондового рентгеноспектрального анализа показали, что содержание элементов в выращенных монокристаллах (Fe : Cu : In : S = 4.91 : 4.66 : 33.24 : 57.19 ат.%) хорошо согласуется с заданным составом в исходной шихте (Fe : Cu : In : S = 4.76 : 4.76 : 33.34 ; 57.14 ат.).

Гомогенность выращенных монокристаллов определяли рентгеновским методом. Образцы для измерений готовили путем измельчения кристаллов и последующей их запрессовкой в специальном держателе. Для снятия механических напряжений, возникающих при растирании монокристаллов, проводили их отжиг в вакууме при температуре 700 К в течении 2 ч.

Углы отражения (2θ), межплоскостные расстояния (d), относительные интенсивности рефлексов (I/I_0), индексы Миллера плоскостей (hkl) для соединений для полученных монокристаллов представлены в таблице 1. Там же приведены рассчитанные значения указанных величин.

Таблица 1 – Результаты рентгеновского анализа кристаллов

$2\theta_{\text{эксп.}}$, град	$2\theta_{\text{расч.}}$, град	$d_{\text{эксп.}}$, Å	$d_{\text{расч.}}$, Å	hkl
14.46	14.42	6.12	6.14	111
23.65	23.62	3.76	3.77	220
27.80	27.77	3.2063	3.2097	311
29.11	29.10	3.0650	3.0661	222
33.63	33.64	2.6626	2.6620	400
41.54	41.51	2.1721	2.1735	422
44.14	44.15	2.0450	2.0495	511
48.28	48.29	1.8837	1.8831	440
54.46	54.45	1.6834	1.6836	620
56.64	56.63	1.6237	1.6238	533
57.36	57.35	1.6050	1.6052	622
60.15	60.16	1.5370	1.5368	444
65.55	65.55	1.4229	1.4229	642
67.53	67.52	1.3861	1.3861	731
70.71	70.72	1.3311	1.3310	800
77.57	77.57	1.2296	1.2296	751
80.63	80.62	1.1905	1.1906	840

Видно, что имеется хорошее соответствие между экспериментальными и расчетными величинами. По измеренным значениям углов дифракции был Параметр элементарной ячейки, рассчитанный методом наименьших квадратов равен $a = 10.649 \pm 0.005 \text{ Å}$

Тепловое расширение измеряли на кварцевом dilatометре в интервале температур 80 – 400 К, в котором тепловое расширение твердых тел измеряется относительно теплового расширения кварца. Перед измерениями установку вакуумировали, что препятствовало окислению образцов. Измерения проводили на образцах средними размерами 3x3x12 мм. Температуру измеряли хромель – алюмелевой термопарой. В интервале 80–293 К происходил естественный нагрев образца путем испарения жидкого азота (скорость нагрева ~ 3 К/мин), а в интервале 293–400 К нагрев вели со скоростью 3–5 К/мин. Такие скорости нагрева позволяли получать воспроизводимые результаты.

Результаты измерений теплового расширения представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициенты теплового расширения, температура Дебая и среднеквадратичные динамические смещения атомов для монокристаллов $\text{FeCuIn}_7\text{S}_{12}$

T, К	$\alpha \times 10^6, \text{K}^{-1}$	$\Theta_D^\alpha, \text{K}$	$\sqrt{u^2}, \text{Å}$	T, К	$\alpha \times 10^6, \text{K}^{-1}$	$\Theta_D^\alpha, \text{K}$	$\sqrt{u^2}, \text{Å}$
100	3,55	270	0,10406	272	7,35	187	0,23129
122	3,76	262	0,11181	300	8,15	178	0,25425
140	4,02	253	0,12641	322	9,18	168	0,27955
163	4,78	232	0,14619	343	10,22	159	0,30298
180	5,01	227	0,15657	360	11,17	152	0,32479
203	5,60	215	0,17590	370	11,77	148	0,33980
230	6,23	203	0,19649	400	12,3	145	0,36127
250	6,83	194	0,21430				

Анализ полученных результатов показывает, что коэффициент теплового расширения (α_L) для монокристаллов $\text{FeCuIn}_7\text{S}_{12}$ растет в интервале температур 90–360 К, выше 360 К рост α_L замедляется и слабо зависит от температуры. Такое поведение α_L связано, по-видимому, со структурой выращенных монокристаллов.

Полученные значения α_L были использованы для расчета температуры Дебая (Θ_D^α) и среднеквадратичных динамических смещений ($\sqrt{u^2}$) по следующим формулам:

$$\Theta_D^\alpha = \frac{14,3}{\alpha^{1/2} M^{1/2} V^{1/3}}, \quad (1)$$

$$\sqrt{u^2} = 4,3 \times 10^{-14} \frac{\left[\frac{D(\Theta/T)}{\Theta/T} + \frac{1}{4} \right]}{M\Theta}, \quad (2)$$

где α_L – коэффициент теплового расширения, K^{-1} ; М – средняя атомная масса, г; V – средний атомный объем, см^3 , $D(\Theta/T)$ – функция Дебая.

Полученные нами значения Θ_D^α и $\sqrt{u^2}$ приведены в таблице 2. Видно, что с ростом температуры значения температуры Дебая уменьшаются, а среднеквадратичные динамические смещения атомов увеличиваются. Такое поведение α_L в твердых растворах $(\text{CuIn}_5\text{S}_8)_{1-x} \cdot (\text{FeIn}_2\text{S}_4)_x$, свидетельствует об ослаблении химической связи.

Е.В. Жуков (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ АКТИВАЦИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

Повышение качества поверхностного слоя металлических сплавов является актуальной задачей при проведении финишной подготовки поверхностей и при формировании ювенильных поверхностей перед нанесением функциональных покрытий. Ультразвуковая обработка (УЗО) представляет собой прогрессивную технологию отделочно-упрочняющей обработки металлов и сплавов. Отличительной особенностью УЗО является малая температура нагрева, низкое статическое усилие и высокая скорость деформирования, благодаря чему данная технология позволяет обрабатывать как детали, обладающие невысокой конструктивной жёсткостью, так и поверхности, подвергнутые термообработке.

Все известные способы подготовки поверхностей металлических сплавов можно классифицировать на следующие виды: механические, химические, электрохимические, химико-механические, обработка ультразвуком [1, 2].

Ультразвуковая обработка материалов является разновидностью механической обработки. Этот вид обработки основан на разрушении обрабатываемого материала абразивными зёрнами или изменении формы материала под ударами инструмента, колеблющегося с ультразвуковой частотой [3].

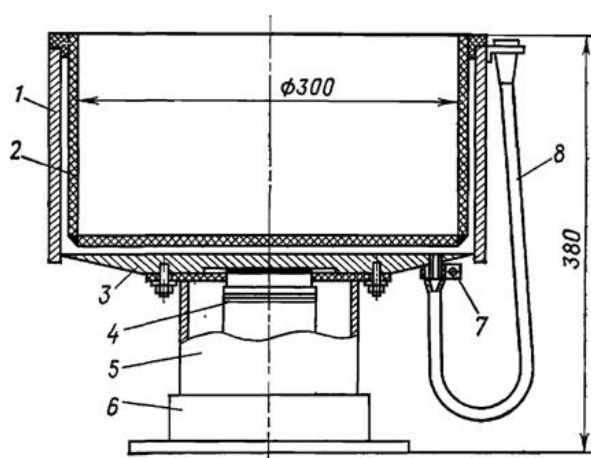
Для проведения исследований были изготовлены образцы в виде прямоугольников (размером 60×10×1 мм) из латуни Л68 ГОСТ 15 527-70, сплава серебра СrМ925 ГОСТ 6836-80, меди М0 ГОСТ 859-78, бронзы БрОФ6.5-0.15 ГОСТ 5017 – 2006 при различных режимах ультразвуковой обработки (изменяли время обработки – 60, 120, 180, 360 секунд). Для получения образцов металл отливали в форму прямоугольного вида. Далее заготовки прокатывали в вальцах до требуемых размеров, после чего образцы подвергали обработке в ультразвуковой ванне (УЗВ) «Сапфир - 0,5 ТЦ» (рисунок 1).

Оптимальная интенсивность ультразвуковых колебаний, используемых при очистке составляет 3...5 Вт/см² для водных растворов и 1...3 Вт/см² для органических растворителей.

Ультразвуковая ванна «Сапфир – 0,5 ТЦ» применяется в ювелирной, химической, электронной, автомобильной промышленности, стоматологии, машиностроении, медицине. УЗВ используют для смешивания эмульсий, ускорения химических реакции и т. д.

Исследования выполняли в лабораторных и производственных условиях при использовании методов оптического анализа (металлографический микроскоп ММР 1600Т), атомно-силовой микроскопии (микроскоп NT-206), микротвердомера (ПМТ-3), блескомера ФБ-2 и др.

Морфология поверхностного слоя зависит от способа обработки, времени обработки, природы сплавов. В результате ультразвуковой обработки происходит образование на поверхности пластически деформированного модифицированного слоя с большой концентрацией дислокаций и размытыми границами между кристаллами, уменьшается количество в поверхностном слое концентраторов напряжений и усталостных трещин, что минимизирует развитие усталостных процессов на поверхности.



1 – наружная ванна; 2 – перфорированная внутренняя ванна из винипласта; 3 – мембрана; 4 – пакет; 5 – бачок; 6 – подставка; 7 – ниппель; 8 – трубка для слива жидкости

Рисунок 1 – Принципиальная схема установки для проведения ультразвуковой очистки поверхностей металлов и сплавов

Наибольшее изменение твердости поверхностей достигается на образцах, изготовленных при следующих режимах: время обработки 120 секунд, температура обработки – 60 °С, рабочая частота 35 кГц. Средние значения величины шероховатости для образцов Л 68 составили $R_a = 0,27$ мкм, для CrM925 – $R_a = 0,43$ мкм, для М0 – $R_a = 0,66$ мкм, для БрОФ6.5-0.15 – $R_a = 0,28$ мкм.

Результаты измерений микротвердости и шероховатости поверхности изготовленных образцов показали, что ультразвуковая обработка приводит к незначительным изменениям геометрических параметров поверхностных слоев, однако наблюдается некоторое снижение параметров шероховатости.

Кроме того, в рамках экспериментальных работ проводили исследование отражательных характеристик образцов в зависимости от продолжительности ультразвуковой обработки, результаты измерений сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты определения блеска поверхностного слоя

Материал образца	Блеск, %				
	после обработки в течении, сек.				
	0	60	120	240	360
Латунь Л 68	40	42	45	48	52
Серебро СpМ925	42	50	50	62	90
Медь М0	38	42	43	50	59
Бронза БpОФ6.5-0.15	48	50	53	54	58

Анализ изменений отражательных характеристик поверхностных слоев свидетельствует об увеличении параметра блеска в зависимости от продолжительности обработки под действием ультразвука. Наибольшей отражательной способностью обладают материалы, имеющие более высокую относительную твердость.

Применение ультразвуковой обработки поверхностных слоев позволяет интенсифицировать процесс очистки, заменить трудоемкую ручную промывку, получить высокую степень чистоты поверхности. Ультразвуковая обработка поверхностей драгоценных материалов наиболее целесообразна в связи необходимостью минимизации потерь дорогостоящих материалов.

Литература

1. Калмин, Б.И. Физико-химические процессы при обработке металлов резанием / Б.И. Калмин, М.С. Корытов. – Омск: СибАДИ, 2003 – 108 с.
2. Спектор Ю.Е. Еромасов Р.Г. Технология нанесения и свойства покрытий / Ю.Е. Спектор, Р.Г. Еромасов. – Курс лекций. – Красноярск: СФУ, – 2008. – 271с.
3. Ямпольский, А.М. Краткий справочник гальванотехника / А.М. Ямпольский, В.А. Ильин, – Москва: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, – 1962. – 244 с.

А.Г. Злобин (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **В.В. Гаврилова**, ст. преподаватель

КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Для повышения работоспособности деталей машин широко применяют разнообразные защитные покрытия, которые обеспечивают надежность и долговечность изделий, повышая твердость, износостойкость, предел контактной выносливости, коррозионную стойкость и другие эксплуатационные характеристики [1].

Повышение работоспособности деталей машин возможно также за счет совершенствования структурного состояния сталей – достижения двухфазной структуры закаленной стали, растворения карбидов, упрочнения мартенсита высокодисперсными карбидами при термической обработке.

Эффективным способом превращения остаточного аустенита в мартенсит при сохранении легирующих компонентов в твердом растворе является криогенная обработка. Этот вид обработки представляет собой продолжение процессов закалки за счет возобновления мартенситного превращения остаточного аустенита при охлаждении стали до минус 196 °С [2].

В качестве объекта исследования выбран элемент (узел) центробежного горизонтального насоса с двойным подводом жидкости типа Д. Данный элемент представляет собой защитную втулку, установленную на валу ротора, которая изготавливается из нержавеющей стали 45 ГОСТ 1050-88.

Защитная втулка находится в контакте с сальниковым уплотнением, которое установлено на валу ротора и вращается вместе с ним. Трение приводит к износу защитной втулки и требуют регулярного осмотра и замены.

Для решения данной проблемы предлагалось при изготовлении защитной втулки, которая в процессе работы насоса образует пару трения с сальниковым уплотнением, использовать комбинированные методы упрочнения поверхности, включающие криогенную обработку и нанесение покрытия на поверхность защитной втулки.

Для проведения испытаний изготовили шесть образцов в виде цилиндров из стали 45 ГОСТ 1050-88, диаметром 40 мм и высотой 10 мм.

В качестве материала для покрытия применяли порошок H85Ю15 и Al₂O₃. Часть образцов была обработана в жидком азоте в течении 30 минут.

H85Ю15 представляет собой порошок с размерами частиц в 40–100 мкм иррегулярной формы, с основой в виде никеля и такими добавками, как алюминий (до 15%), железо и углерод.

Al_2O_3 – бесцветные нерастворимые в воде кристаллы, бинарное соединение алюминия и кислорода. В природе распространён как основная составляющая часть глинозёма, смеси оксидов алюминия, калия, натрия, магния и т. д.

Способы подготовки поверхности изготовленных образцов и их обозначения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Способы подготовки поверхностного слоя

Номер образца	Вид обработки	Обозначение
1	Исходное состояние	Сталь 45
2	Криогенная обработка	Сталь 45 + N_2
3	Криогенная обработка и последующее напыление H85Ю15	Сталь 45 + N_2 + H85Ю15
4	Напыление H85Ю15	Сталь 45 + H85Ю15
5	Криогенная обработка и последующее напыление Al_2O_3	Сталь 45 + N_2 + Al_2O_3
6	Напыление Al_2O_3	Сталь 45 + Al_2O_3

Экспериментальные исследования проводили на основе использования методов оптического анализа. Для исследования характера структуры поверхности изготовленных образцов использовали металлографический микроскоп ММР 1600Т. Для исследования морфологии и топографии поверхности использовали атомно – силовой микроскоп НАНОТОП – 206. В результате сканирования получили АСМ-изображения микрорельефа в режиме топографии, а также в режиме фазового контраста исследуемых образцов. Триботехнические испытания проводили на на микротрибометре FT – 2. Для измерения микротвердости использовали прибор ПМТ – 3.

Полученные результаты показали, что при криогенной обработке твердость поверхности увеличивается на 5 %; для образцов с криогенной обработкой и последующим нанесением покрытия H85Ю15 – на 9,6 %; для образцов с криогенной обработкой и последующим нанесением покрытия Al_2O_3 – на 15 %. При нанесении на поверхность образцов покрытия Al_2O_3 наблюдалось увеличение микротвердости поверхности на 37 %.

Металлографический анализ и атомно-силовая микроскопия образцов свидетельствует о формировании градиентной структуры и упрочнении поверхностных слоев при криогенной обработке и нанесении покрытий H85Ю15 и Al_2O_3 .

Триботехнические испытания показали, что применение криогенной обработки приводит к уменьшению коэффициента трения и, следовательно, к повышению износостойкости поверхности образцов. Наименьший износ наблюдался у образца с криогенной обработкой и последующим нанесением покрытия Al_2O_3 .

В результате проведенных исследований установили, что наиболее эффективным методом повышения эксплуатационного ресурса защитной втулки центробежного горизонтального насоса является комбинированный метод упрочнения поверхности – криогенная обработка в среде жидкого азота с последующим нанесением покрытия Al_2O_3 .

Литература

1. Евдокимов, В.Д. / Технология упрочнения машиностроительных материалов / В.Д. Евдокимов, Л.П.Клименко, А.Н. Евдокимова / Учебное пособие-справочник / Одесса: Изд-во НГГУ им. Петра Могилы. – 2005. – 352 с.

2. Афанасьева, Л.Е. Лазерная и криогенная обработка быстрорежущих сталей / Л.Е. Афанасьева, И.А. Барабонова, / Монография / Тверь: Тверской государственный технический университет, 2014. – 96 с.

Д.Н. Кадач, Т.И. Кадач (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **В.В. Гаврилова**, ст. преподаватель

РОТОПРИНТНОЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА НА СВОЙСТВА ЭЛАСТОПЛАСТОВ

Эксплуатационный ресурс деталей машиностроительного назначения определяется совокупностью параметров, которые должны отвечать жестким условиям работы и высоким требованиям заказчиков. Карданные валы и передачи являются неотъемлемыми узлами широкого перечня транспортных средств, предназначенные для передачи механической энергии от силового агрегата к элементам ходовой части. Эффективность работы каждого из элементов данной системы обеспечивает техническую надежность и эксплуатационный комфорт для обслуживающего персонала. Среди негативных факторов, влияющих на обслуживающий персонал, следует отметить вибрационные нагрузки, которые устраняются за счет применения промежуточных опор (промопор). В связи с вышеизложенным видится целесообразным исследование условий работы промопор карданных валов и технологических параметров их производства. Для увеличения эксплуатационного ресурса

карданных передач требуется разработка композиционных материалов с оптимальными параметрами сочетания физико-механических и вибро-динамических параметров в условиях прилагаемых нагрузок[1].

Объектами исследования являлись составы на основе вулканизированной резины марок 7В14, 7-ИРП-1352 и 7-ИРП-1348. В качестве функционального модификатора использовали ультрадисперсный поли-тетрафторэтилен торговой марки «ФОРУМ» (УПТФЭ).

Образцы формировали методом вальцевания, которое проводили на резинообрабатывающих вальцах ПД 630 315/315Л. Время вальцевания резиновой смеси (5±1) мин, с непрерывными подрезами по концам валка для равномерного перемешивания. Температура валков составляла 45 °С. Зазор между валками 1–3 мм. Выдерживали листы резиновой смеси после вальцевания перед вулканизацией при температуре 23 °С в течение 4 ч., а затем с помощью ножа разрезали на пластины. Для вулканизации использовали пресс гидравлический ПГ-40 и съемную двухгнездную прессформу для пластин 150×150×2 мм (ГОСТ 30263-96). Время вулканизации – 30 минут. Температура вулканизации – 152 °С. Удельное давление – 7,4 МПа. Покрытие УПТФЭ «ФОРУМ» на поверхность резин наносили ротопринтным методом.

Для исследования механических характеристик полученных образцов использовали прибор ИПМ-1К, на котором в соответствии с действующим стандартом [2] определяли твердость по Шору. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний композиций на основе модифицированных составов резин на твердость по Шору

Физико-механические характеристики	7-ИРП-1348	7-ИРП-1348 + УПТФЭ «Форум»	7В14	7В14 + УПТФЭ «Форум»	7-ИРП-1352	7-ИРП-1352 + УПТФЭ «Форум»
Твердость по Шору А., ед	73,73	72,37	80,93	80,77	72,93	69,83

Анализ результатов исследования твердости образцов из различных составов резин, модифицированных ротопринтным методом компонентами на основе ПТФЭ марки «ФОРУМ» не приводит к значительным изменениям твердости по Шору и находится в пределах показателей, характерных для исходных образцов резин.

Для определения прочности при растяжении использовали разрывную машину ИР 50447–50 с наибольшей предельной нагрузкой 50 кН. Испытания проводили по методике, описанной в [3] на двухсторонних лопатках. Результаты испытаний на прочность при растяжении приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний композиций на основе модифицированных составов резин на прочность при растяжении

Составы резин	Прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %
7-ИРП-1348	9,03	58,23
7-ИРП-1348 + УПТФЭ «ФОРУМ»	12,00	58,37
7В14	6,23	33,27
7В14 + УПТФЭ «ФОРУМ»	8,37	33,33
7-ИРП-1352	6,43	59,83
7-ИРП-1352 + УПТФЭ «ФОРУМ»	7,50	61,33

Обработка модифицирующим составом политетрафторэтилена при многократном межвалковом вальцевании позволила дисперсным частицам политетрафторэтилена распределиться в объеме материала резин, что привело к увеличению прочности на растяжение составов резин на 20–30 % в зависимости от состава исходных компонентов, однако показатель относительного удлинения не претерпел существенного изменения в сравнении с исходными составами резин.

Из экспериментов следует, что при нанесении на образцы резин составов УПТФЭ торговой марки «ФОРУМ» происходит увеличение на 20–30 % прочности при растяжении. Материал становится более устойчивым к воздействию повышенных динамических воздействий, что приводит к снижению вероятности появления механических повреждений в поверхностных слоях виброгасящих материалов, что способно увеличить эксплуатационный ресурс узла карданной передачи в целом. Предлагаемый композиционный материал может применяться в качестве элемента промежуточных опор карданного вала. Применение полученного решения способно увеличить межремонтный период эксплуатации элементов ходовой части и повысить комфортность условий работы обслуживающего персонала.

Литература

1. Большой справочник резинщика. Ч. 2. Резины и резинотехнические изделия / под ред. С.В. Резниченко, Ю.Л. Морозова. – М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ», 2012. – 648 с., ил.
2. Резина. Метод определения твердости по Шору А: ГОСТ 263-75. – Введ. 01.01.1977. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 6 с.
3. Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении. ГОСТ 270-75. – Введ. 01.01.1977. – М.: Издательство стандартов, 1989.

Ю.А. Кондратьева (УО «БГУ», Минск)

Науч. рук. **Ю.М. Покотило**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ФОРМИРОВАНИЕ КВАЗИМОЛЕКУЛЫ ВОДОРОДА H_2^* ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ ГИДРОГЕНЕЗИРОВАННОГО КРЕМНИЯ

Известно, что гидрогенизация кремния при обработке в водородной плазме приводит к формированию дефектов различного типа, существенно влияющих на электрофизические и оптические свойства [1]. В настоящей работе приведены результаты исследования свойств дефектов методом комбинационного рассеяния света (КРС).

Для исследований использовался монокристаллический кремний, легированный бором ($\rho = 1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$). Спектры КРС записывались при комнатной температуре с помощью Nanofinder High End (Lotis ТП) – микрорамановского спектрометра, совмещенного с 3D сканирующим конфокальным микроскопом. Регистрация спектров осуществлялась по схеме обратного рассеяния, разрешение спектрометра составляло $0,3 \text{ см}^{-1}$. Подводимая к образцу мощность составляла 2 мВт, а диаметр возбуждающего пучка – около 1 мкм. Использовалось возбуждение излучением твердотельного лазера с длиной волны 532 нм.

Обработка образцов в водородной плазме осуществлялась при температуре $150 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 10 часов. Отжиг образцов после гидрогенизации осуществлялся при $275 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 20 мин в кварцевой трубе на воздухе. На рисунке 1 представлены спектры КРС в исследуемых образцах после обработки в Н-плазме (1) и дополнительного отжига при $275 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 20 минут (2). Видно, что в первом случае наблюдается две перекрывающиеся полосы с максимумами при 2095 (Si-H) и 2129 см^{-1} (1). Полоса при 2095 см^{-1} обусловлена аморфизацией кремния после гидрогенизации за счет образования дефектов. После дополнительного краткосрочного отжига проявляется одна узкая полоса с максимумом при 2125 см^{-1} , соответствующая колебаниям связей (Si- H_2) в плателетах [1]. Этот режим отжига соответствует режиму формирования в кремнии, имплантированном протонами, мелких водородосодержащих доноров в концентрации порядка 10^{16} см^{-3} [2]. Но измерения удельного сопротивления исследуемых гидрогенизированных эпитаксиальных слоев путем выдержки в водородной плазме показали, что удельное сопротивление $\rho = 10^4$ и $1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ после обработки в плазме и отжига соответственно. Высокое удельное сопротивление после обработки в плазме обусловлено образованием компенсирующих радиационных дефектов. Дополнительная термообработка приводит к восстановлению кристаллической структуры, о чем свидетельствует исчезновение полосы при 2095 см^{-1} за счет отжига основного радиационного дефекта донор – вакансия [2] и тем самым восстановлению электрической активности легирующего фосфора.

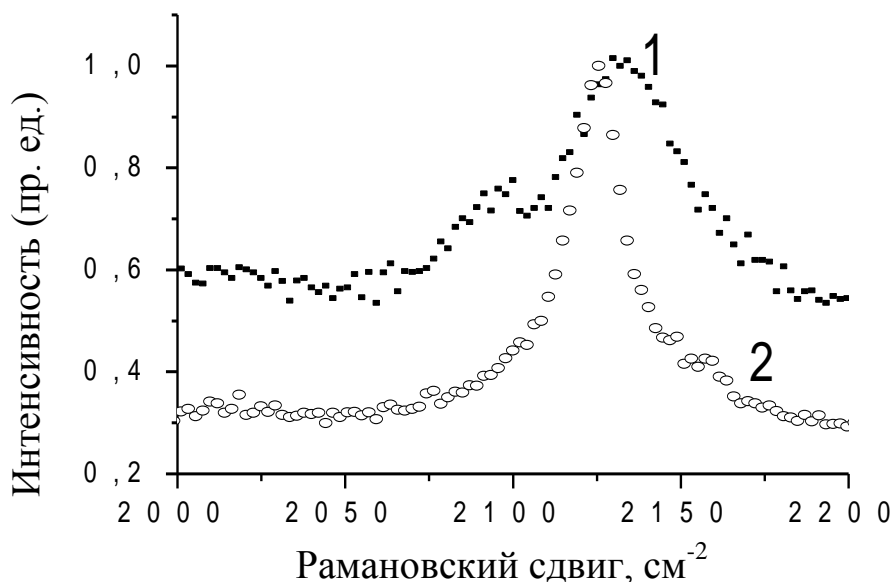


Рисунок 1 – Спектры КРС в исследуемых образцах после обработки в Н-плазме (1) и дополнительного отжига при 275 °С в течение 20 минут (2).

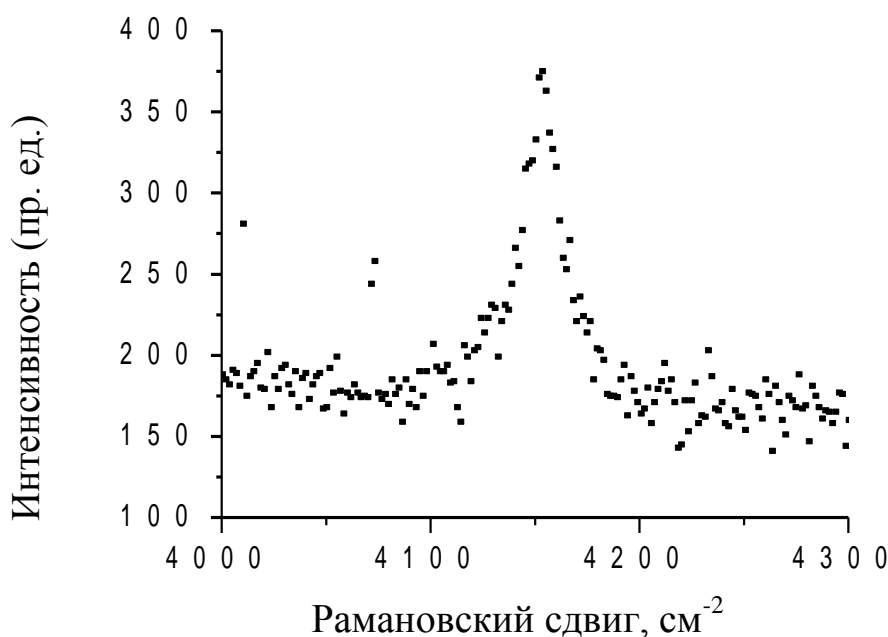


Рисунок 2 – Спектр КРС в образце обработанном в плазме и отожженном при 275 °С в течение 20 минут

На рисунке 2 представлен спектр КРС в исследуемом образце после обработки в плазме и отжиге. Видно, что наблюдается полоса 4153 см⁻¹, обусловленная колебанием связи в молекуле водорода Н₂^{*}, так как эта частота совпадает с таковой для рассеяния в газообразном водороде [3]. В случае Н₂^{*} комплекса один атом водорода занимает центральное

положение на Si-Si связи, формируя Si-H связь, а второй атом H, находясь в антисвязующем междоузельном положении, формирует Si-H связь с оставшейся оборванной связью [3].

Полная энергия H_2^* меньше, чем полная энергия двух изолированных нейтральных атомов водорода, а при отжиге радиационных дефектов происходит восстановление оборванных связей и выход водорода из связанного состояния. Действительно, энергия разрыва Si-H связи составляет около 1.8 эВ, энергия диффузии атомарного водорода – около 0.48 эВ [3].

Согласно литературным данным [3], в совершенной решетке кремния конфигурация H_2^* в положении тетраэдрического междоузлия более стабильна, чем отдельные моноатомные водородные радикалы. Поэтому уже после отжига при температуре $>200^\circ\text{C}$ в кремнии происходит формирование молекул H_2^* . Химическое взаимодействие между молекулами H_2^* в дальнейшем приводит к формированию водородных пузырей.

Литература

1. Тыщенко И.Е. // ФТП – 2013 – т.47 – №3 – с. 591.
2. Покотило Ю.М. и др.// Неорганические материалы – 2009. – Т. 45 – № 11 – 1285 с.
3. Chang K.J., Chadi D.I.//Phys.Rev.Lett – 1989 – v. 62 – № 8 – 937 p.

А.Э. Кравцевич (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.С. Антонов**, ст. преподаватель

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЦЕПТУРНЫХ СОСТАВОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ТЕРМОПЛАСТОВ

Введение. В современном машиностроении широкое применение нашли полимерные композиционные материалы конструкционного назначения, полученные путем введения в полимерную матрицу наполнителей различной дисперсности и природы, а также путем смешения нескольких полимеров. Основная причина столь бурного развития полимерных композиционных материалов – это то, что традиционные «чистые» полимеры в значительной степени исчерпали свои возможности, а научно-технический прогресс требует материалы с новыми свойствами.

Полимеры смешивают для получения полимерных материалов с новыми улучшенными свойствами и расширения ассортимента полимерных материалов. Благодаря смешению удается улучшить самые разнообразные свойства полимеров: механические, реологические,

теплофизические, фрикционные, диффузионные и другие. Смешение полимеров пока не имеет столь широких возможностей для изменения свойств полимеров, как химический синтез, но смешение полимеров – это более простой путь создания новых полимерных материалов, чем путь химического синтеза.

Для целенаправленного создания новых полимерных материалов с заданными свойствами путем смешения полимеров необходимо знать закономерности, связывающие состав, условия смешения, структуру и свойства смесей полимеров [1–5].

Целью данной работы являлась разработка рецептурных составов композиционных материалов на основе смесей алифатических полиамидов и исследование их свойств.

Методика исследований. В качестве объектов исследований выступали алифатические полиамиды следующих марок: ПА6 и ПА6,6 (филиал «Завод Химволокно» ОАО «Гродно Азот»), полиамид ПА12 (EMS-CHEMIE AG, Швейцария). Смесевые композиции формировали по следующей рецептуре: ПА6,6 (85 мас. %) + ПА6 (10 мас. %) + ПА12 (5 мас. %). Смешение компонентов проводили на термопластавтомате. Для улучшения деформационно-прочностных показателей материалов использовали следующие модификаторы: коллоидно-графитовый препарат С-1 и шихту детонационного синтеза баллистических порохов. Экспериментальные образцы из разработанных составов композиционных материалов на основе смесей алифатических полиамидов получали в виде лопаток и брусков литьем под давлением на термопластавтомате.

Испытания на определение деформационно-прочностных характеристик композиционных материалов проводили по стандартным методикам [6, 7].

Результаты и их обсуждение. Результаты испытаний на определение деформационно-прочностных характеристик смесевых композиций на основе алифатических полиамидов (табл. 1) свидетельствуют о значительном повышении их свойств при введении в состав композита наночастиц коллоидно-графитового препарата С-1 и шихты детонационного синтеза баллистических порохов в количестве 0,5 мас. %. Предположительным механизмом модифицирующего действия могут служить формирование активного зарядового состояния и образование развитой поверхности частиц модификатора при создании композитов.

Проведенные исследования показывают, что полученные нанокompозиты на основе смесевых полиамидов и различных углеродных наномодификаторов, обладающие комплексом ценных свойств, можно рекомендовать в качестве перспективных конструкционных материалов различного функционального назначения.

Таблица 1 – Деформационно-прочностные характеристики композитов

Состав материала	Е, МПа	$\sigma_{изг}$, МПа	$\epsilon_{изг}$, %	σ_p , МПа	ϵ_p , %
ПА6	2318,1	89,18	6,1	65,19	3,8
ПА6,6 (85 мас. %) + ПА6 (10 мас. %) + ПА12 (5 мас. %)+	2650,4	102,5	6,5	74,32	3,8
ПА6,6 (84,5 мас. %) + ПА6 (10 мас. %) + ПА12 (5 мас. %)+ + КГП С-1 (0,5 мас.%)	2984,7	114,7	6,7	78,84	3,9
ПА6,6 (84,5 мас. %) + ПА6 (10 мас. %) + ПА12 (5 мас. %)+ + шихта (0,5 мас.%)	2850,5	115,1	6,8	77,80	3,8
Примечание: E – модуль упругости; $\sigma_{изг}$ – предел прочности при изгибе; $\epsilon_{изг}$ – относительное удлинение при изгибе; σ_p – предел прочности при растяжении; ϵ_p – относительное удлинение при растяжении.					

Заключение. Разработаны рецептуры составов композиционных материалов на основе смесей алифатических полиамидов с улучшенными по сравнению с базовыми компонентами, входящими в состав смесей, физико-механическими и деформационно-прочностными свойствами. Разработанные рецептуры композиционных материалов на основе алифатических полиамидов можно рекомендовать в качестве функциональных материалов при производстве триботехнических машиностроительных изделий, получаемых литьем под давлением, а также в качестве материала функциональных покрытий тяжело нагруженных узлов трения и автомобильных агрегатов. Полученные композиционные материалы позволят расширить ассортимент выпускаемой продукции на филиале «Завод Химволокно» ОАО «Гродно Азот».

Исследования проводились при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках договора № Т14М-079 «Разработка составов и технологий композиционных материалов на основе смесевых полимер-полимерных систем и исследование зависимости свойств композитов от их состава и фазовой структуры» от 23.05.2014 г.

Литература

1. Нелсон, У.Е. Технология пластмасс на основе полиамидов / У.Е. Нелсон; под ред. А.Я. Малкина; пер. с англ. С.Г. Куличихина, Р.З. Маркович. – М.: Химия, 1979. – 256 с.

2. Основы технологии переработки пластмасс: учеб. для вузов / С.В. Власов [и др.]; под ред. В.Н. Кулезнева, В.К. Гусева. – М.: Мир, 2012. – 596 с.

3. Кулезнев, В.Н. Химия и физика полимеров: учеб. пособие для вузов / В.Н. Кулезнев, В. А. Шершнева. – СПб.: Лань, 2014. – 367 с.

4. Струк, В.А. Структура композиционных материалов на основе механических смесей термопластов / В.А. Струк, А.А. Война // Пластические массы. – 1985. – №12. – С. 37–38.

5. Антонов, А.С. Влияние наполнителей на триботехнические свойства смесевых композиций на основе термопластов / А.С. Антонов, Г.С. Кондрашова, А.А. Скаскевич // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Я. Купалы. Серыя 6, Тэхніка. – 2013. – № 4. – С. 36–42.

6. ГОСТ 11262-80. Пластмассы. Метод испытания на растяжение. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 16 с.

7. ГОСТ 4648-71. Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 12 с.

Н.Ф. Куинь Ань (УО «БГУ», Минск)

Науч. рук. **С.Н. Курилкина**, д-р физ.-мат. наук, профессор

ДВА ТИПА ГИПЕРБОЛИЧЕСКИХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ С БЛИЗКОЙ К НУЛЮ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ НА ОСНОВЕ НАНОПОРИСТОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Метаматериал – искусственный композитный структурированный материал, электромагнитные свойства которого существенно отличаются от свойств компонентов, входящих в его состав, и определяются особым упорядочением и структурой компонентов. Искусственная периодическая структура в составе метаматериала позволяет управлять законами дисперсии, преломления и отражения электромагнитных волн в метаматериале [1]. Одним из типов метаматериалов являются гиперболические метаматериалы (ГММ), у которых компоненты эффективного тензора диэлектрической проницаемости имеют разные знаки [2], [3]. Представляет интерес исследование вопроса о свойствах гиперболических метаматериалов с близкой к нулю диэлектрической проницаемостью. Данная проблема рассматривается в настоящем сообщении.

Рассмотрим композитную среду, образованную диэлектрической матрицей (например, из оксида алюминия) с упорядоченно внедренными металлическими наноцилиндрами (рис. 1).

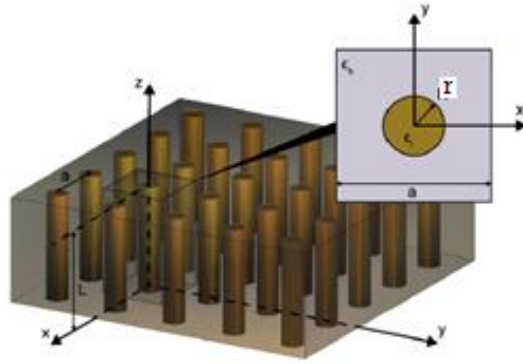


Рисунок 1 – Диэлектрическая матрица с упорядоченно внедренными металлическими наноцилиндрами

В соответствии с теорией эффективной среды данный материал может рассматриваться, как одноосная среда, диэлектрические свойства которой описываются тензором диэлектрической проницаемости $\varepsilon = \text{diag}\{\varepsilon_x, \varepsilon_x, \varepsilon_z\}$ [4]

$$\varepsilon_x = \frac{\beta\varepsilon_m N + \varepsilon_d(1-N)}{\beta N + (1-N)}, \quad \varepsilon_z = \varepsilon_m N + \varepsilon_d(1-N), \quad (1)$$

где $\beta = 2\varepsilon_d/(\varepsilon_m + \varepsilon_d)$, ε_d – диэлектрическая проницаемость диэлектрической матрицы, ε_m – диэлектрическая проницаемость металла, $N = \pi r^2/a^2$ – фактор заполнения, r – радиус нанопоры, a – среднее расстояние между центрами двух соседних нанопор. Электрическая проницаемость металла зависит от длины волны и определяется формулой [5]:

$$\varepsilon_m(\lambda) = \varepsilon_\infty - \lambda^2 / [\lambda_p^2(1 + i\lambda\Gamma/2\pi c)], \quad (2)$$

где ε_∞ – объемная диэлектрическая проницаемость металла, λ – длина волны оптического излучения, λ_p – плазменная длина волны, Γ – коэффициент затухания, V_F – скорость Ферми.

В соответствии с расчетом, проведенным с помощью (1), (2), получаем, что на основе композитной среды, образованной нанопористым оксидом алюминия, поры которого радиусом $r = 30 \text{ нм}$ заполнены серебром, при величине фактора заполнения $N = 0.087$ может быть создан гиперболический метаматериал как I типа ($\text{Re}(\varepsilon_z) < 0, \text{Re}(\varepsilon_x) > 0$), так и II типа ($\text{Re}(\varepsilon_z) > 0, \text{Re}(\varepsilon_x) < 0$).

При этом, как видно из рис. 2, вблизи $\lambda_{II} \approx 378 \text{ нм}$ реализуется режим близости к нулю поперечной диэлектрической проницаемости ($\text{Re}(\varepsilon_x) \approx 0$), а вблизи $\lambda_{II} \approx 843 \text{ нм}$ – режим близости к нулю продольной диэлектрической проницаемости ($\text{Re}(\varepsilon_z) \approx 0$).

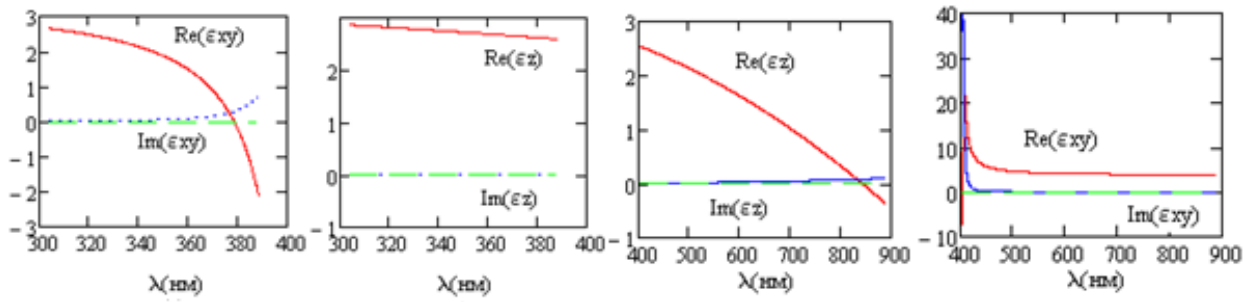


Рисунок 2 – Спектральная зависимость действительной и мнимой части поперечной и продольной диэлектрической проницаемости композитной среды, образованной нанопористым оксидом алюминия, поры которого радиусом $r = 30\text{ нм}$ заполнены серебром

Как показывает расчет, величины λ_I и λ_{II} оказываются зависящими от величины фактора заполнения (рис. 3): при возрастании N λ_I и λ_{II} уменьшаются. Отметим, что изменение радиуса нанопоры при определенном значении фактора заполнения оказывает влияние на $\text{Im}(\epsilon_x)$, $\text{Im}(\epsilon_z)$, но практически не влияет на величины длин волн, вблизи которых действительные значения поперечной и продольной диэлектрической проницаемости близки к нулю.

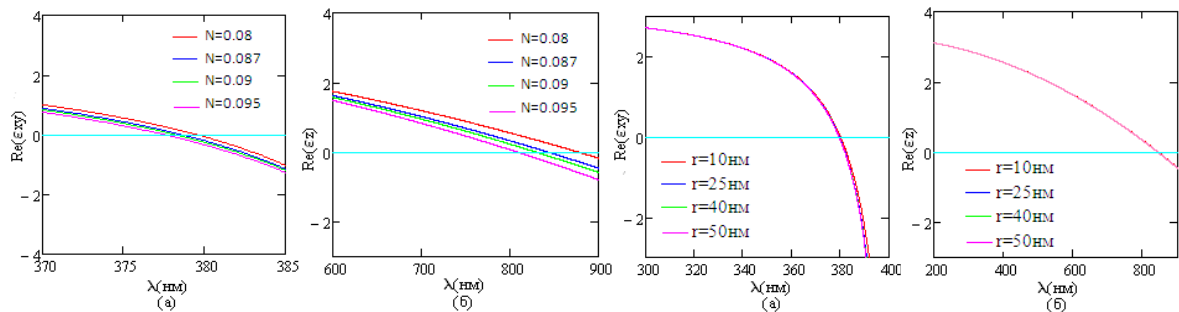


Рисунок 3 – Зависимость действительной части поперечной (а) и продольной (б) диэлектрической проницаемости структуры от фактора заполнения и радиуса нанопоры

Расчет показывает, что величины λ_I и λ_{II} оказываются зависящими от величины фактора заполнения (рис. 3): при возрастании N λ_I и λ_{II} уменьшаются. Из рисунка видно, что изменение радиуса нанопоры при определенном значении фактора заполнения оказывая влияние на $\text{Im}(\epsilon_x)$ и $\text{Im}(\epsilon_y)$ но практически не влияет на величины длин волн,

вблизи которых действительные значения поперечной и продольной диэлектрической проницаемости близости к нулю.

Таким образом, в настоящем сообщении показано, что с помощью одного образца композитной среды, представляющей собой матрицу из нанопористого оксида алюминия, поры которого заполнены серебром вида гиперболического метаматериала, с близким к нулю значением диэлектрической проницаемости. Данные режимы представляют интерес для управления параметрами оптического излучения.

Литература

1. И.Б. Вендик, О.Г. Вендик *Метаматериалы и их применение в технике сверхвысоких частот (Обзор)* // Журнал технической физики.- 2013. – том 83, вып. 1.
2. P. Shekhar, J. Atkinson, Z. Jacob *Hyperbolic metamaterials: fundamentals and applications.*
3. C.L. Cortes, W. Newman, S. Molesky, Z. Jacob *Quantum nanophotonics using hyperbolic metamaterials* // J. – Opt. 14 (2012). – 063001 (15pp).
4. S. Thongrattanasiri *Computational Nanooptics in Hyperbolic Metamaterials and Plasmonic Structures* // Oregon State University. – July 22, 2010.
5. W. Cai, V. Shalaev *Optical Metamaterials: Fundamentals and Applications* // Springer.

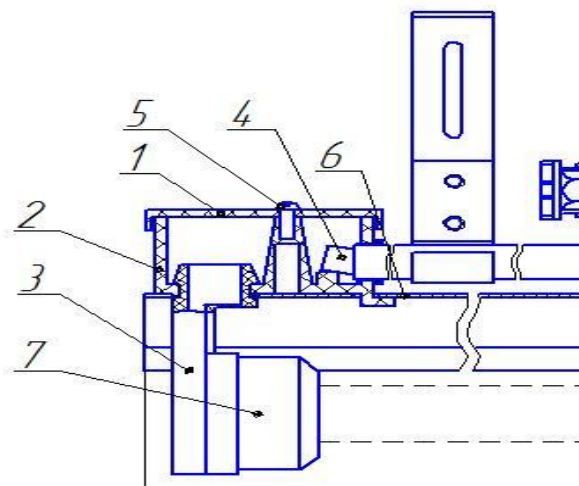
Е.С. Куриленко (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ДЕРЖАТЕЛЬ ПАТРОНА» ЛАМПЫ ЭЛЕКТРООСВЕЩЕНИЯ ЛПП 10-2×36-601

На предприятии ОАО «Лидский завод электроизделий» изготавливают светильники с люминесцентными лампами для освещения бытовых, общественных и производственных помещений, светильники уличного освещения с газоразрядными лампами высокого давления, а также электромагнитные пускорегулирующие аппараты и бесконтактные путевые переключатели. В некоторых светильниках в качестве держателей патронов использовалась скоба патрона из листовой стали, изготовление которой требовало нескольких технологических переходов: отрезка полосы; пробивка отверстия с отрезкой; гибка в штампе; сварка с корпусом; покраска. В представленной работе предлагается использовать однооперационный процесс литья из полимерного материала

детали «Держатель патрона». Важнейшим преимуществом предлагаемого варианта является производительность процесса. Деталь из полимерного материала получают за один впрыск в термопластавтомате.

Расположение детали «Держатель патрона» в светильнике показано на рисунке 1.



1 – крышка; 2 – держатель патрона; 3 – патрон; 4 – трубка; 5 – винт;
6 – основание; 7 – резьбовое кольцо лампы

Рисунок 1 – Расположение деталей в светильнике

Держатель патрона 2 устанавливается на основание 6. В самом держателе патронов устанавливается патрон 3. Патрон 3 выполняет функцию передачи напряжения на люминесцентную лампу. Сам держатель патронов выполняет функцию крепления проводов к патрону. Крышка 1 закрывает держатель патронов и удерживается винтом 5.

Требования к светильникам с электрическим источником света напряжением не более 1000 В устанавливает стандарт ГОСТ ИЕС 60598-1.

Для изготовления детали подобрали материал ПА6-Л-СВ30-1. Это полимерный композиционный материал на основе первичного полиамида 6, наполненный отрезками стеклянных нитей. Химически стоек к действию углеводородов, минеральных масел, концентрированных и слабых щелочей, слабых кислот. Данный материал применяют при изготовлении литьем под давлением различных изделий и деталей конструкционного и электротехнического назначения, работающих в условиях ударных нагрузок и вибраций. Держатель патрона 2 устанавливается на основание 6. В самом держателе патронов устанавливается патрон 3. Патрон 3 выполняет функцию передачи напряжения на люминесцентную лампу. Сам держатель патронов выполняет функцию крепления проводов к патрону. Крышка 1 закрывает держатель патронов и удерживается винтом 5.

Требования к светильникам с электрическим источником света напряжением не более 1000 В устанавливает стандарт ГОСТ ИЕС 60598-1.

Для изготовления детали подобрали материал ПА6-Л-СВ30-1. Это полимерный композиционный материал на основе первичного полиамида 6, наполненный отрезками стеклянных нитей. Химически стоек к действию углеводородов, минеральных масел, концентрированных и слабых щелочей, слабых кислот. Данный материал применяют при изготовлении литьем под давлением различных изделий и деталей конструкционного и электротехнического назначения, работающих в условиях ударных нагрузок и вибраций.

Содержание влаги в материале не должно превышать 0,12 %. На сушильной установке УС-3УЗ осуществляли процесс сушки материала. Температура сушки для материала ПА6-Л-СВ30-1 светло-серый – 70–80 °С. Время сушки для материала ПА6-Л-СВ30-1 светло-серый – 4 часа.

Процесс литья под давлением осуществляли на термопластавтомате ДА 3130.

При переработке, температура по зонам находилась в диапазоне температур от 180 до 285 °С. Давление литья 80÷130 МПа, рекомендуется 90 МПа. Температура формы 60÷90 °С. Более высокая температура формы приводит к большей усадке получаемых изделий.

Материал ссыпали в загрузочную зону блока впрыска со шнеком, где происходило размягчение полимера до вязко-текущего состояния. При вращении шнека расплавленный полимер собирается в экструдере и затем полимер через распределительный клапан передается в загрузочную емкость цилиндра впрыска. Эта передача полимера движет плунжер назад, пока не достигали заданного положения объема впрыска. Температура полимерного материала по зонам: I – 180±10 °С; II – 200±10 °С; III – 220±10 °С; IV – 240±10 °С. Давление впрыска – 80–100 МПа.

Рабочий цикл машины включает в себя следующие стадии:

- смыкание и зажим литьевой формы;
- впрыск пластмассы в литьевую форму;
- выдержка под давлением, охлаждение, отвод блока впрыска;
- гранулы полимера расплавлены и готовы для следующего впрыска;
- открытие литьевой формы;
- извлечение изделий системой толкания;
- сброс изделий в контейнер системой толкания.

После получения отливки в литьевой форме осуществляли ее контроль по внешнему виду и по размерам. По внешнему виду отлитые детали контролируются на отсутствие недоливов, переливов, короблений, утяжек, царапин, внутренних включений.

При обнаружении брака производили его устранение с помощью внесения изменений на интерфейсе литьевой машины и бракованную продукцию отвозили на склад для последующего его хранения.

Выводы. При проведении исследований изучены технологические процессы изготовления деталей литьем под давлением на участке пластмасс ОАО «Лидский завод электроизделий». В качестве объекта оптимизации выбрана деталь «Держатель патронов» светильника для производственных помещений ЛПП 10-2×36-601 вместо применяющейся и изготавливаемой ранее за счет многооперационных циклов из металла детали «скоба для патрона».

Таким образом, удалось сократить число технологических операций и обеспечить высокую производительность изготовления типовой детали «Держатель патронов» за один цикл. Произведен выбор материала для производства изделия «Держатель патронов», в качестве которого предложен материал ПА6-Л-СВ30-1, определены этапы технологического процесса.

Литература

1. Крыжановский, В.К. Производство изделий из полимерных материалов / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов. – СПб.: Профессия, – 2004. – 376 с.
2. Михайлин, Ю.А. Специальные полимерные композиционные материалы / Ю.А. Михайлин. – СПб.: Научные основы и технологии, – 2009. – 452 с.
3. Мэллой, Р. Конструирование полимерных изделий для литья под давлением / Р. Мэллой. – СПб.: Профессия, – 2006. – 254 с.
4. Власов, С.В. Основы технологии переработки пластмасс: учебное пособие для ВУЗов / 2-е изд., испр. и доп. / С.В. Власов, Л.Б. Кандырин, В.Н. Кулезнев и др. – СПб.: Химия, – 2004. – 358 с.

К.И. Кушнеров (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)
Науч. рук. **В.А. Гольдаде**, д-р техн. наук, профессор

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УЗЛОВ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТРЕНИЯ

В настоящее время в узлах нестационарного трения, к которым относятся, в первую очередь, тормозные устройства и трансмиссии машин, используются термостойкие фрикционные материалы на основе

терморезактивных связующих, преимущественно – на основе фенолоформальдегидных смол.

Технические характеристики фрикционных материалов во многом определяются свойствами используемых связующих, которые зависят от степени отверждения последних. Степень отверждения, в свою очередь зависит от многих внешних факторов. Как правило, ее регулируют величиной и длительностью температурного воздействия. Во многих научных центрах ведутся работы по поиску других источников энергетического воздействия на материалы, в частности, путем магнитоимпульсной обработки.

Требования, предъявляемые к материалам, из которых изготовлены элементы пары трения, можно условно разделить на экономические, технологические, гигиенические и эксплуатационные [1].

Одним из основных *эксплуатационных требований*, предъявляемых к современным тормозным парам трения, является их высокая фрикционная теплостойкость, то есть способность пары трения сохранять устойчивое значение коэффициента трения и обладать малым износом в широком диапазоне температур. Однако условия работы современных машин весьма сложны, поэтому к фрикционным материалам предъявляются еще и другие требования [2, 3].

В настоящей работе изучено влияние физико-химических воздействий (температура, магнитоимпульсная обработка, влажность и агрессивность окружающей среды) на триботехнические свойства композитов на основе фенолоформальдегидной смолы и каучука.

Показано, что наличие металла в композитном материале приводит к увеличению коэффициента трения и интенсивности изнашивания.

Установлено, что магнитоимпульсная обработка влияет на триботехнические свойства материалов на основе ФФС и каучука. Четыре цикла МИО приводят к увеличению коэффициента трения и интенсивности изнашивания как при малых значениях PV (0,5 МПа·м/с) так и при больших (2 МПа·м/с). Для композитов с волокнистым наполнением как фактор PV и МИО, так и термообработка существенно не влияют на коэффициент трения и интенсивность изнашивания.

Показано, что термообработка практически не влияет на коэффициент трения и интенсивность изнашивания композитов при разных скоростях, а интенсивность изнашивания при скорости 2 м/с у термообработанных образцов примерно в 2 раза меньше чем у необработанных.

Установлено, что агрессивная среда в виде солевого тумана практически не влияет на коэффициент трения композитов с дисперсным металлическим наполнителем, однако при скоростях скольжения выше 1 м/с существенно (в 2–3 раза) повышается интенсивность изнашивания, что

является следствием окисления дисперсных частиц металла в зоне контакта, приводящего к электролитическому изнашиванию.

Литература

1. Трение и износ. Крагельский И.В. Изд. 2-у перераб. и доп. М., изд-во «Машиностроение» – 1968. – 480 с.
2. Крагельский И.В., Михин Н.М. Узлы трения машин: Справочник – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
3. Основы трибологии (трение, износ, смазка): учебник для технических вузов. 2-е изд. переработ. и доп. / А. В. Чичинадзе, Э. Д. Браун, Н. А. Буше и др.; Под общ. ред. А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с.

О.А. Липницкий (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ДИСТИЛЛЯЦИИ ТОВАРНОГО КАПРОЛАКТАМА

Введение. Необходимость совершенствования технологии производств органического синтеза и нефтепереработки обусловлена проблемами экологии, энерго- и ресурсосбережения. Частичное решение этих проблем может быть достигнуто в результате сокращения числа побочных продуктов, являющихся отходами производства [1, 2].

Капролактама является распространенным продуктом химической промышленности и имеет достаточно широкую область применения. Данный материал используется, в основном, для получения полиамидных пластмасс, волокон. Основная часть мирового потребления приходится на нити и волокна, значительное количество потребляется также в производстве конструкционных пластмасс. Остальной объем используется для изготовления упаковочных пленок и других материалов. Полиамидные волокна и нити, как правило, применяются в производстве текстиля, ковровых покрытий, промышленных нитей, используемых в свою очередь для изготовления шинного корда. Кордная нить – крупнейший и наиболее быстрорастущий сегмент рынка ПАБ. Смола ПАБ также является основной для производства конструкционных пластиков, используемых для производства компонентов электронной и электрической техники, автомобильных деталей. В упаковочной отрасли применяется ориентированная полиамидная пленка, также изготовленная на основе смолы ПАБ. Небольшие объемы капролактама уходят на синтез лизина, а также в качестве агента в производстве полиуретана [3].

Производство капролактама складывается из стадий окисления циклогексана до циклогексанона, перевода его в оксим с последующей перегруппировкой в капролактамы. В процессах окисления и переработки оксидата с получением циклогексанона (более 99,9 %) образуется более 50 разнообразных примесных соединений, которые вносят вклад в загрязнение товарного капролактама.

Обеспечение высокого качества капролактама – одна из важнейших задач, стоящих перед производителями этого продукта, определяющего качество получаемого из него полиамида и материалов на его основе. Поэтому вопросам повышения качества товарных капролактама уделяется особое внимание [4, 5].

Целью работы являлась модернизация технологической схемы дистилляции и ректификации капролактама на ОАО «Гродно Азот».

Методика исследований. Объектом исследований являлась технологическая схема дистилляции и ректификации капролактама, применяемая при производстве капролактама на ОАО «Гродно Азот».

Для модернизации технологической схемы, оптимизации конструкторских решений роторных тонкопленочных испарителей, оформления конструкторской и технологической документации применяли методы компьютерного моделирования и проектирования технических объектов на базе программных продуктов Компас-3D V15 и AutoCAD Mechanical 2013. Прочностные и технологические расчеты оптимизированных конструкций роторных тонкопленочных испарителей проводили по стандартным методикам [6].

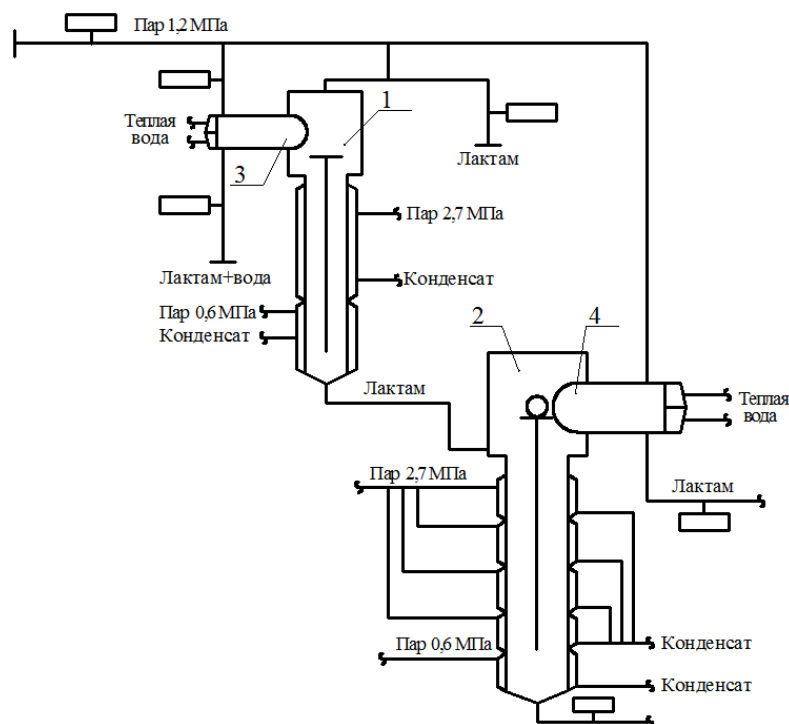
Результаты и их обсуждение. Технологическая схема установки тонкопленочных испарителей, используемых в производстве капролактама на стадии дистилляции представлена на рисунке 1.

Основным аппаратом для удаления остатков влаги из капролактама является пленочный испаритель 1, в котором отсутствует ротор. Лактам с помощью распределительного кольца с отверстиями поступает в пленочный испаритель 1, сбегая по стенкам образуя ручейки, уменьшая поверхность теплообмена, что не обеспечивает равномерного распределения пленки и достаточной отгонки влаги из капролактама.

Аппаратом для получения готового продукта является пленочный роторный испаритель 2. Проведенный химический анализ товарного капролактама производства ОАО «Гродно Азот» выявил, что готовый продукт не соответствует уровню продукта высшей категории качества, так как было обнаружено высокое содержание щелочи и не соответствующий показатель оптической плотности.

Для повышения эффективности работы установки дистилляции капролактама было предложено в тонкопленочном испарителе установить пленочный распределитель жидкости, а в роторном тонкопленочном

испарителе – роторно-кольцевой центробежный сепаратор. Данные решения способствовали уменьшению уноса жидкой фазы с парогазовым потоком в 5–6 раз, обеспечению полного удаления влаги из готового продукта, позволили снизить показатель оптической плотности и содержание щелочи в готовом продукте.



- 1 – тонкопленочный испаритель;
2 – роторный тонкопленочный испаритель; 3,4 – конденсаторы

Рисунок 1 – Технологическая схема установки тонкопленочных испарителей

Заключение. Модернизация технологической схемы и конструкций тонкопленочных испарителей на установке дистилляции капролактама показали высокую эффективность работы тонкопленочного испарителя в широком диапазоне газо-жидкостных нагрузок, позволили интенсифицировать процесс дистилляции и ректификации капролактама, улучшить показатели готового продукта и обеспечить его стабильное высокое качество.

Литература

1 Информационные базы данных для химической промышленности Республики Беларусь / В.С. Крук [и др.] // Химические проблемы создания новых материалов и технологий: сб. ст. / Бел. гос. ун-т, НИИ физ.-хим. проблем; редкол.: О.А. Ивашкевич (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2003. – Вып. 2. – С. 231–250.

2 Юрша, И.А. Опыт внедрения энергосберегающих технологий в азотной промышленности / И.А. Юрша // Химическая промышленность. – 2001. – № 4. – С. 14–16.

3 Производство капролактама / А.С. Бадриан [и др.]; под ред. В.И. Овчинникова и В.Р. Ручинского. – М.: «Химия», 1977. – 264 с.

4 К вопросу о качестве капролактама и полиамида / С.Я. Карасева [и др.] // Российский химический журнал. – 2006 – Т.50, № 3. – С. 54–58.

5 Жданук, Е.Н. Исследование факторов, влияющих на качество капролактама / Е.Н. Жданук, Э.Т. Крутько, Н.Р. Прокопчук // Труды БГТУ. Серия Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2011. – №4 (142). – С. 21–25.

6 Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию / под ред. Ю. И. Дытнерского. – М. : Химия, 1991. – 496 с.

Н.А. Любочко

(ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Минск)

Науч. рук. **Е.П. Зарецкая**, канд. физ.-мат. наук

СТРУКТУРА И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЯ $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$

Прямозонный полупроводник $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ и твердые растворы на его основе $\text{Cu}(\text{Ga,In})(\text{S,Se})_2$ с коэффициентом поглощения свыше 10^5 см^{-1} в видимой и ближней ИК-области спектра являются перспективными материалами для использования в качестве светопоглощающих слоев тонкопленочных фотопреобразователей. В настоящее время коэффициент полезного действия фотопреобразователей солнечного излучения на основе твердых растворов $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ составляет 19.0–20.8 % [1,2].

Однако в силу высокой стоимости индия и галлия и ограниченности земных запасов их начали заменять более дешевыми и доступными элементами. Большой интерес в этом отношении представляет четверное соединение $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$, являющееся прямозонным полупроводником, где In и Ga замещены на Sn и Zn.

Целью данного исследования является изучение структуры и оптических свойств поликристаллов соединения $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$.

Для синтеза четверных соединений $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ использовался однопотемпературный метод, обеспечивающий чистоту получаемого вещества и отсутствие потерь компонентов. Исходными веществами служили элементарные компоненты: медь, цинк и олово чистоты 99.999 %, сера и селен марки ОСЧ. Синтез проводился в двойных кварцевых ампулах.

Исходные компоненты в соотношениях, соответствующих стехиометрическому составу, в общем количестве ~15 г загрузились в ампулу, которую затем вакуумировали. Эту ампулу помещали в другую вакуумированную ампулу, которую устанавливали в вертикальной однозонной печи [3].

Фазовый состав и кристаллическая структура осажденных слоев исследовались методом рентгеновского фазового анализа (РФА) с использованием дифрактометра D8 Advance (Bruker AXS) на $\text{CuK}\alpha$ излучении ($\lambda = 0,1542$ нм), фильтрованным многослойным Ni графитовым монохроматором (напряжение на трубке 40 кВ, ток 40 мА), в режиме сканирования с шагом $0,04^\circ$ и временем счета 5с. Для регулировки дифрактометра использовался сертифицированный стандарт SRM 606 (LaB_6 порошок) от NIST (National Institute of Standards and Technology, USA). Идентификация фаз осуществлялась сравнением экспериментально установленных межплоскостных расстояний d с данными JCPDS (Joint Council for Power Diffraction Standards, 2013).

Спектры комбинационного рассеяния регистрировались на спектрометре Nanofinder HiHg End. В качестве источника возбуждения использовался твердотельный лазер с длиной волны 473 нм. Все измерения проводились при $T_k = 20^\circ\text{C}$ с геометрией на отражение в спектральном диапазоне от 150 до 3000 нм.

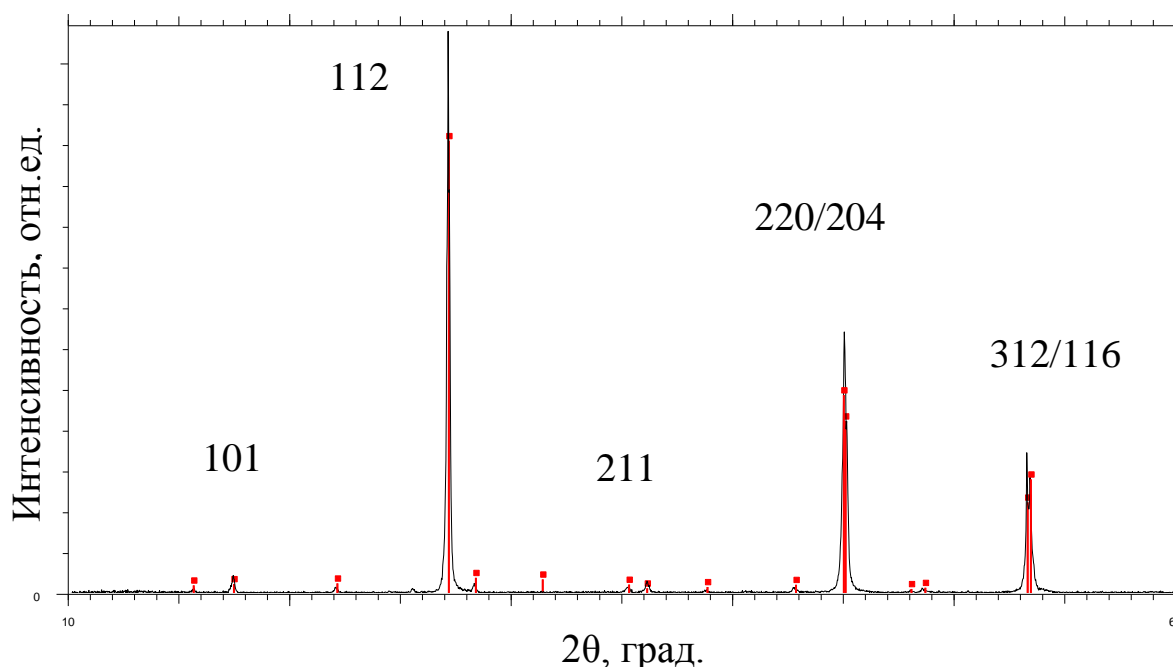
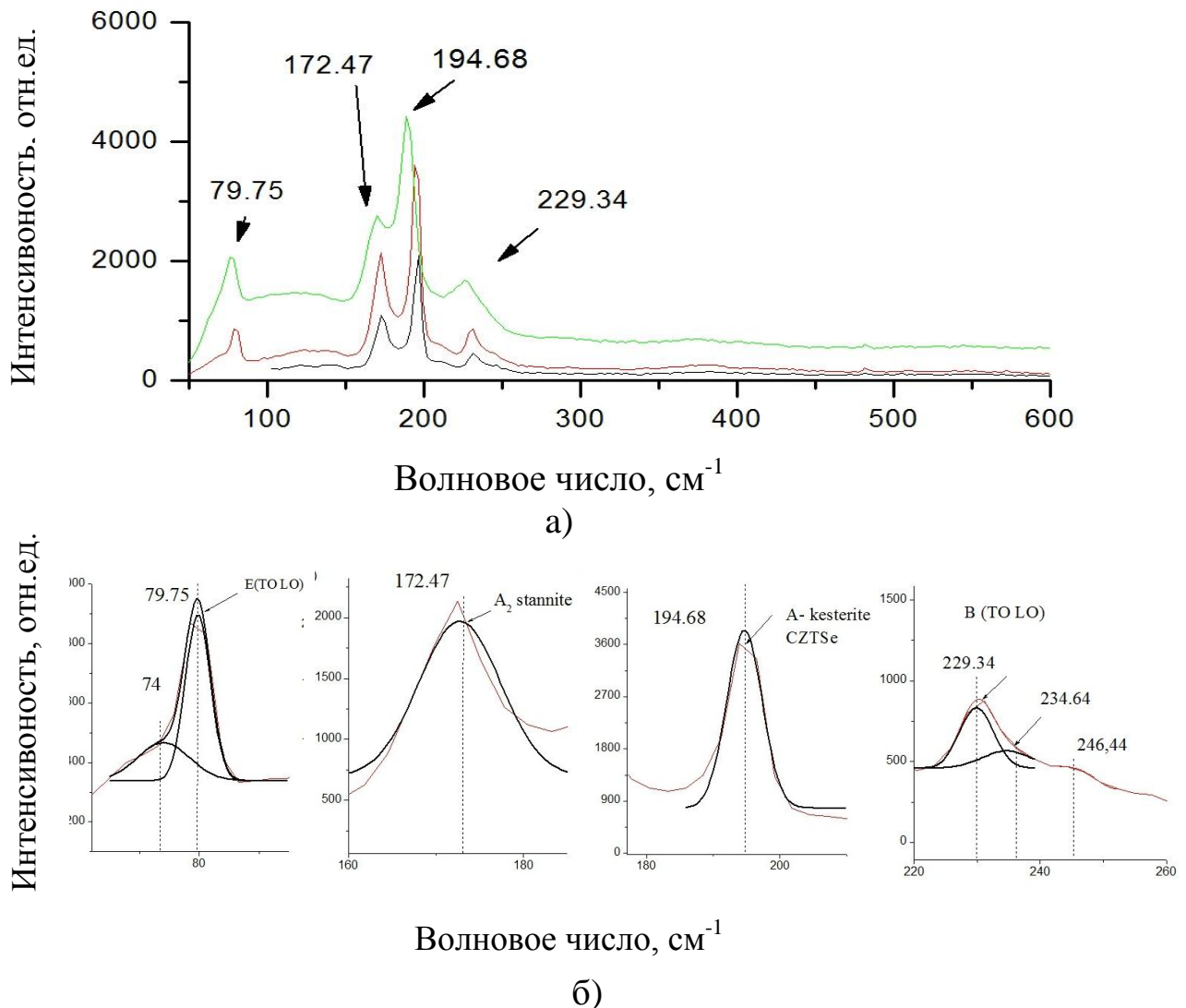


Рисунок 1 – Дифрактограмма соединения $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$

Согласно данным РФА синтезированное соединение $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ является поликристаллическим, однофазным и имеет тетрагональную структуру кестерита. На дифрактограммах порошков этого материала

(рис. 1) проявляется доминирующий рефлекс от плоскости (112) $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ при $27,14^\circ$, рефлексы незначительной интенсивности от плоскостей (101), (211), (204) и (312). Однако рефлексы (204) и (312) невозможно однозначно приписать к фазе $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$, так как эти рефлексы могут соответствовать отражениям от плоскостей (220, 116) соединения ZnSe тетрагональной структуры с близкими параметрами решетки.

С целью уточнения структурной модификации ряда синтезированных поликристаллов $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ были исследованы спектры их комбинационного рассеяния (КРС) (рисунок 2). На спектрах КРС наблюдаются колебания: $79,75 \text{ см}^{-1}$; $172,47 \text{ см}^{-1}$; $194,68 \text{ см}^{-1}$; $229,34 \text{ см}^{-1}$ и $234,64 \text{ см}^{-1}$, соответствующие фундаментальным колебаниям структуры кестерита – E(TO LO), A, B(TO LO), а также мода A_2 при $172,47 \text{ см}^{-1}$ структуры станнита.



а – общий вид спектров; б – положение колебаний
 Рисунок 2 – Спектры комбинационного рассеяния соединения $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$

Однако колебания, соответствующие соединению ZnSe, на КРС спектрах не проявляются. Таким образом, можно сделать вывод, что синтезированные поликристаллы имеют структуру кестерита с локальными разупорядочениями со структурой станнита.

Литература

1. Jackson P., Hariskos D., Lotter E. et al. // Prog. Photo-voltaics: Res. Appl. 2011. V. 19. № 7. P. 894.
2. Contreras M.A., Mansfield L.M., Egaas B. et al. // Prog. Photovoltaics: Res. Appl. 2012. V. 20. № 7. P. 843.
3. А. У. Шелег, В. Г. Гуртовой, В. А. Чумак // КРИСТАЛЛОГРАФИЯ, 2015, том 60, № 5, С. 826–830.

В.К. Меринов (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)
Науч. рук. **В.А. Гольдаде**, д-р техн. наук, профессор

ВЛИЯНИЕ ВОЛОКНИСТЫХ И ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

В машиностроении широкое распространение получили фрикционные узлы стационарного трения, т.е. узлы трения, для которых важнейшим эксплуатационным параметром является стабильность во времени триботехнических характеристик материалов трущихся изделий.

Фрикционный контакт предполагает диссипацию механической энергии путем преобразования ее в теплоту трения, которая рассеивается в окружающую среду. Для снижения тепловыделения на фрикционном контакте в качестве связующего композиционного материала используют политетрафторэтилен (ПТФЭ) и композиты на его основе. Однако в чистом виде ПТФЭ обладает рядом недостатков: очень низкой теплопроводностью, высоким коэффициентом линейного расширения, низким уровнем физико-механических свойств, ползучестью под нагрузкой [1]. Введение функциональных наполнителей позволяет направленно улучшать эксплуатационные характеристики композиционных материалов с одновременным сохранением ценных свойств чистого полимера. Варьируя вид и содержание наполнителя, можно значительно улучшить физико-механические, теплофизические, технологические, триботехнические и другие свойства композиционных материалов [2]. Перспективным направлением в модифицировании структуры является использование ультрадисперсных металлических наполнителей, супертонких минеральных волокон и полых микросфер.

В настоящей работе приведены результаты исследования фрикционных характеристик композитов на основе фторопласта Ф-4, наполненного дисперсными металлами (Zn, Cu, Fe, дисперсность < 50 мкм) с содержанием наполнителя от 1 до 3 масс. % и базальтовыми волокнами (диаметр 2 мкм, длина 150 мм) с содержанием от 2 до 6 масс. %. Фрикционно-износные характеристики материалов определяли на машине трения СМЦ-2 по схеме вал–частичный вкладыш. Испытания проводили при нагрузках 2 и 4 МПа. Измеряли износ, момент трения и температуру в зоне фрикционного контакта, по значениям которых определяли интенсивность изнашивания, коэффициент трения и показатель его стабильности.

Установлено, что при нагрузке 2 МПа с увеличением содержания волокнистого наполнителя коэффициент трения практически линейно растет, достигая величины 0,45. Для образцов с дисперсными наполнителями не удалось выявить существенного влияния концентрации наполнителя на коэффициент трения. Величина коэффициента трения для всех образцов меняется в диапазоне 0,25 – 0,4.

При увеличенной нагрузке (4 МПа) наблюдается некоторое отличие. В частности, для образцов, содержащих волокнистый наполнитель, сначала коэффициент трения несколько уменьшается со временем, а затем выходит на постоянную величину, причем наибольший коэффициент трения (0,25) наблюдается для образцов, содержащих 6 масс. % наполнителя. Таким образом, при увеличении нагрузки для образцов с волокнистым наполнителем наблюдается снижение коэффициента трения. Вид дисперсного наполнителя практически не влияет на коэффициент трения. В целом, коэффициент трения для всех композитов с увеличением нагрузки снижается.

При нагрузке 2 МПа для всех композиционных материалов интенсивность изнашивания растет с увеличением содержания наполнителя. Наибольший износ наблюдается для композитов, содержащих дисперсный цинк. При увеличении нагрузки до 4 МПа интенсивность изнашивания резко увеличивается для всех композитов. Наибольший износ наблюдается для композитов, содержащих дисперсное железо: интенсивность изнашивания увеличивается почти в 25 раз. Наименьшее увеличение износа наблюдается для композитов с базальтовым волокном и медью.

Наименьшая температура в зоне контакта наблюдается для композитов, содержащих медный и цинковый порошок, причем с увеличением концентрации наполнителя температура снижается.

Учитывая характеристику изнашивания и величину коэффициента трения, в качестве фрикционных материалов для стационарных узлов трения можно рекомендовать композиты на основе Ф-4, содержащие базальтовое волокно (6%), медь (2%), цинк (1%).

Литература

1. Д.Д. Чегодаев, З.К. Наумова, Ц.С. Дунаевская Фторопласты, Л. : Государственное научно-техническое изд-во химической литературы, 1960.
2. А.К. Пугачев, О.А. Росляков. Переработка фторопластов в изделия, Л.: Химия. Ленинград отд., 1987.

М.И. Москвичев (УО «ГГУ имени Ф.Скорины», Гомель)
Науч. рук. **В.Е. Гайшун**, канд. физ.-мат. наук, доцент

МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ

В современном мире производство изоляционных материалов развивается стремительными темпами. Немалое внимание уделяется разработке новых технологий получения теплоизоляционных материалов, которые обладают улучшенными свойствами и могут успешно использоваться в современном строительстве. Ведь с их помощью можно значительно повысить энергоэффективность, обеспечить необходимую прочность, огнестойкость, долговечность и привлекательный внешний вид зданий и других инженерных сооружений.

В проблемной лаборатории УО «ГГУ имени Франциска Скорины» были получены пористые теплоизоляционные материалы на основе диоксида кремния, обладающие низкой теплопроводностью и высокой прочностью. В состав исходной композиции для их изготовления входит жидкое стекло, диоксид кремния, графит и бура (натрий тетраборно-кислый $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Методика предполагает использование жидкого стекла с плотностью не менее $1,42 \text{ г/см}^3$, так как стекло с меньшей плотностью приведет к разжижению смеси, а следовательно, увеличит время сушки материала.

В качестве диоксида кремния используется аэросил ОХ-50 производства компании Evonik's Chemicals Business Area, средний размер частиц которого составляет 40 нм. Порошок графита необходим для повышения прочностных свойств, а бура способствует равномерному образованию пор в получаемом материале.

Методика получения теплоизоляционных материалов на неорганической основе включает в себя несколько этапов. Сначала приготавливается однородная смесь из жидкого стекла и аэросила в следующем процентном соотношении: жидкое стекло – 90 %, аэросил ОХ-50 – 10 %. Затем в приготовленную смесь добавляется порошок графита (0,5–1 % от общей массы смеси) и бура (2–3 % от общей массы смеси).

Тщательно перемешанная смесь помещается в термошкаф с температурой 50–60 °С. Вследствие реакции диоксида кремния и щелочи, образуются соединения кремниевой кислоты, которые в дальнейшем полимеризуются. Процесс полимеризации кремниевой кислоты приводит к образованию каркасной трехмерной сетки. Формирование крупных частиц поликремниевой кислоты сопровождается захватом молекул воды, которая находится как в химически связанном состоянии, так и в адсорбированном. За 8–10 часов смесь отвердевает. После отверждения застывшая смесь измельчается на мелкие частицы и засыпается в форму на 40–50 % от её объема.

Затем форма с частицами помещается в муфельную печь, разогретую до 500 °С. В результате температурного воздействия, содержащаяся в смеси вода испаряется, что приводит к образованию пор и вспениванию материала. Через 10–20 минут образец вынимается из муфельной печи и извлекается из формы. После проведения всех этапов, получается пористый теплоизоляционный материал заданной формы и размеров.

Образцы полученного материала имеют плотность 0,2–0,3 г/см³ и коэффициент теплопроводности 0,05–0,07 Вт/(м·К). Полученный материал обладает следующими преимуществами: повышает теплоизоляционных свойства зданий и сооружений, экологически чист, обладает водостойкостью, огнестойкостью и высокой прочностью.

А.М. Нахай (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.С. Антонов**, ст. преподаватель

НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Введение. Одним из основных процессов, приводящих к выходу машин и механизмов из эксплуатации, является трение. Для уменьшения износа пар трения применяются разнообразные смазочные материалы, из которых наиболее распространенными являются пластичные смазки. Введение в композиции разнообразных присадок в строго дозированных и сбалансированных концентрациях позволяет значительно изменить свойства исходных пластичных смазочных материалов. В современном машиностроении применяют различные пластичные смазки и смазочные масла, которые содержат в качестве противоизносных компонентов порошки металлов, оксидов, графита, дисульфида молибдена, галогенсодержащие и антиокислительные присадки, полимерные и металлополимерные частицы и т.п. Особый научный и практический

интерес представляют присадки нанометровой и нанофазной размерности типа алмазосодержащих продуктов детонационного синтеза, фуллереновых саж, металлов, и модификаторы природного происхождения, способные к генерированию противоизносных пленок на поверхностях трения [1–6].

Целью данной работы являлась разработка и исследование составов композиционных смазочных материалов, модифицированных наночастицами, для применения в узлах трения транспортных средств и промышленного оборудования.

Методика исследований. В качестве объекта исследований выступала комплексная литиевая пластичная смазка ИТМОЛ-150Н ТУ ВУ 100029077.005-2006. Для улучшения эксплуатационных свойств пластичной смазки использовали шихту детонационного синтеза баллистических порохов (НП ЗАО «Синта», г. Минск) в количестве до 1 мас. %. Композиционные смазочные материалы формировали путем механического смешения частиц модификатора с базовым компонентом при комнатной температуре.

Исследования морфологии частиц модификаторов осуществляли с использованием средств растровой электронной микроскопии [7, 8]. Реологические характеристики образцов определяли на реовискозиметре Гепплера [9]. Триботехнические характеристики определяли по схеме «три индентора – по неподвижному диску» на микротрибометре FT-2 при скорости скольжения $V = 0,016$ м/с и нагрузке $N = 20$ Н [10]. Диаметр шариков – 3 мм (сталь ШХ15). Радиус трассы трения – 16 мм. Методика определения температуры каплепадения регламентирована [11].

Результаты и их обсуждение. Исследования морфологии частиц модификатора показали, что наночастицы шихты детонационного синтеза баллистических порохов обладают развитой поверхностью (рисунок 1), что способствует созданию благоприятных условий для получения композитов с уникальными свойствами.

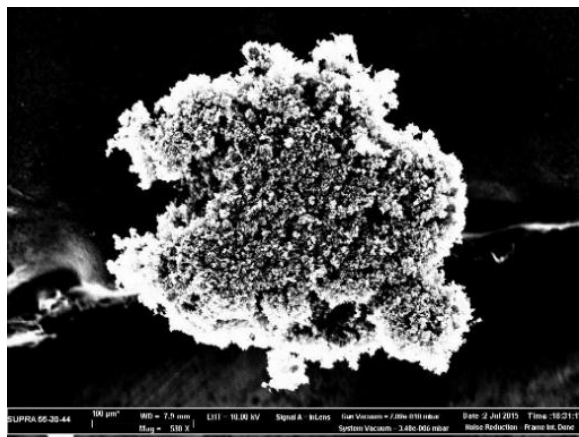
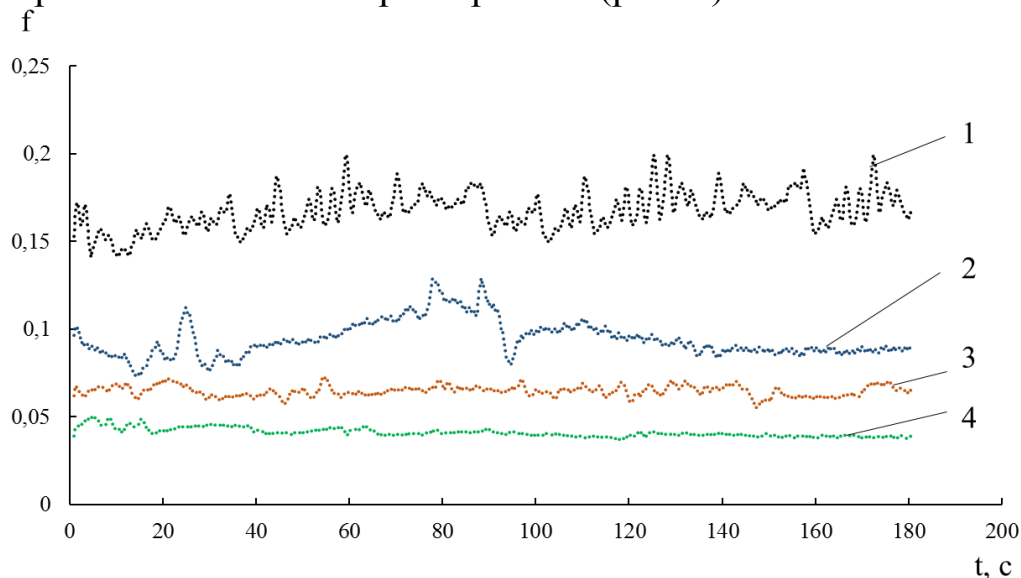


Рисунок 1 – РЭМ-изображения частиц шихты детонационного синтеза баллистических порохов

В результате введения такого модификатора в виде «допинговых» добавок (до 1 мас. %) в пластичную смазку удаётся резко увеличить показатели триботехнических характеристик (рис. 2).



1 – без смазки; 2 – в условиях смазки ИТМОЛ-150Н; 3 – в условиях смазки ИТМОЛ-150Н + 0,1 мас. % шихты; 4 – в условиях смазки ИТМОЛ-150Н + 0,5 мас. % шихты

Рисунок 2 – Зависимость коэффициента трения от времени для пары трения сталь 45 – ШХ 15

Исследования реологических и теплофизических характеристик композиционных смазочных материалов, также свидетельствует об эффективности использования в качестве функционального наполнителя шихты детонационного синтеза баллистических порохов.

Заключение. Лучшим сочетанием вязкостно-прочностных и триботехнических характеристик обладает разработанный состав ИТМОЛ-150Н + 0,5 мас. % шихты детонационного синтеза баллистических порохов, который можно рекомендовать в качестве смазочного материала для тяжело нагруженных узлов трения транспортных средств и промышленного оборудования.

Литература

1. Богданович, С.П. Трение, смазка и износ в машинах: учебник для студентов вузов по машиностроительным специальностям / П.Н. Богданович, В.Я. Прушак, С.П. Богданович. – Минск : Тэхналогія, 2011. – 527 с.

2. Люты, М. Пластичные смазочные композиционные материалы и покрытия с нанометровыми модификаторами: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.02.01 / М. Люты; Полоц. гос. ун-т. – Новополоцк, 2002. – 24 с.

3. Люты, М. Методология создания смазочных материалов с наномодификаторами / М. Люты [и др.] // Трение и износ. – 2002. – № 4. – С. 411–424.

4. Наноалмазы детонационного синтеза: получение и применение / П.А. Витязь [и др.]; под общ. ред. П.А. Витязя. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 381 с.

5. Нанокпозиционные смазочные материалы / Е.В. Овчинников [и др.] // Горная механика и машиностроение. – 2014. – № 4. – С. 89–94.

6. Низкоразмерные модификаторы для консистентных литиевых смазок / Е. В. Овчинников [и др.] // Горная механика и машиностроение. – 2015. – № 1. – С. 91–103.

7. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ: в 2 т. Т. 1 / пер. с англ. под ред. В.И. Петрова. – М.: Мир, 1984. – 303 с.

8. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ: в 2 т. Т. 2 / пер. с англ. под ред. В.И. Петрова. – М.: Мир, 1984. – 348 с.

9. РД 50-366-82. Вискозиметры Гепплера с падающим шаром. Методы и средства поверки. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 9 с.

10. Триботехнические и композиционные материалы: лаб. практикум: в 2 ч. / УО «Гродненский государственный университет им. Я. Купалы»; В.В. Гаврилова [и др.]; под общ. ред. В.А. Струка. – Гродно: ГрГУ, 2013-2014. – Ч. 1: Триботехнические материалы. – 2013. – 39 с.

11. ГОСТ 32394-2013. Смазки пластичные. Метод определения температуры каплепадения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 15 с.

С.А. Никитин (УО «БрГТУ», Брест)

Науч. рук. **Н.Н. Ворсин**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ МНОЖИТЕЛЬНОЙ КОЛОННЫ ГЕНЕРАТОРА АРКАДЬЕВА-МАРКСА

Для достижения на выходе генератора Аркадьева-Маркса импульсов напряжения величиной несколько сотен киловольт необходим источник постоянного напряжения на 25–30 киловольт с выходным током до 1.5 мА. Серьезной трудностью при создании такого источника является изготовление повышающего трансформатора с прочностью изоляции на десятки киловольт. Эта трудность преодолевается путем использования высоковольтного трансформатора промышленного изготовления,

например, выходного трансформатора строчной развертки от кинескопного монитора или телевизора.

Однако, опыты показывают, что установка такого трансформатора в импульсный источник питания сама по себе не дает удовлетворительную надежность. Причиной этого является иной режим работы трансформатора, в сравнении с тем, на который он рассчитан. Прямолинейное копирование цепи строчной развертки нецелесообразно, поскольку загромождает источник необязательными элементами, что ухудшает его массогабаритные и стоимостные характеристики. В ходе работ по созданию высоковольтного источника нам удалось получить очень простую схему автоколебательного преобразователя питания, не содержащую лишних элементов и обеспечивающую режим работы выходного трансформатора, близкий к режиму использования в строчной развертке (см. рисунок 1). Источник обеспечивает гальваническую развязку выходной цепи от питающей сети 220 В и безотказно работает длительное время.

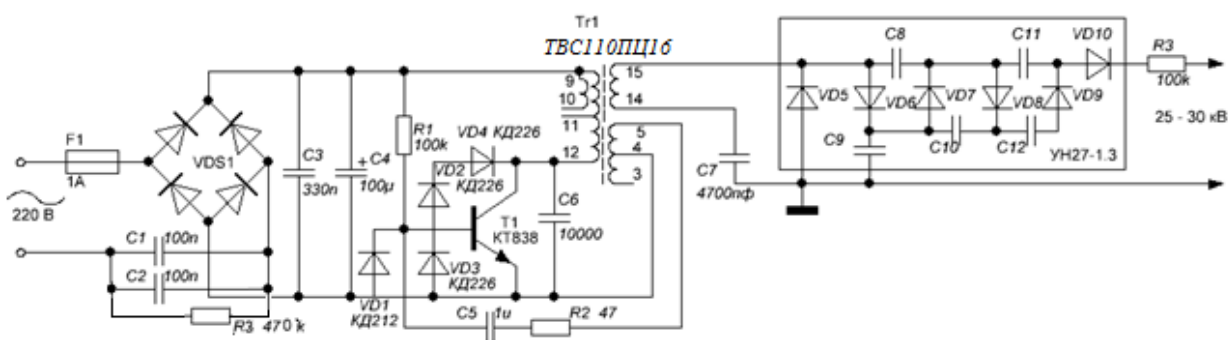


Рисунок 1 – Схема автоколебательного преобразователя питания

Как видно из приведённой схемы, преобразователь представляет собой мощный блокинг-генератор [1], дополненный несколькими элементами. К ним относятся диоды VD1, VD2-VD4 и конденсатор C6. Эти элементы обеспечивают импульсы напряжения на первичной катушке с амплитудой около 1.3 кВ, формой в виде половины синусоиды, длительностью 15 мкс и частотой следования 16 кГц. Соответственно, на вторичной катушке получаются импульсы с амплитудой около 9 кВ. Выпрямление их с утроением дает постоянное напряжение 27 кВ.

Дополнительные элементы имеют следующее назначение. Диод VD1 делает симметричными процессы перезарядки конденсатора C5. В отсутствие этого диода C5 получает однополярную зарядку импульсами тока базы транзистора VT1, что сильно уменьшает относительное время открытого состояния транзистора.

Конденсатор C6 препятствует быстрому изменению напряжения на коллекторе транзистора при его переходе в режим отсечки тока. Данный

конденсатор образует с индуктивностью первичной катушки трансформатора колебательный контур, благодаря чему высоковольтный импульс на коллекторе имеет форму половины синусоиды. Длительность этого импульса приблизительно равна полупериоду свободных колебаний контура.

Диоды VD2-VD4 не позволяют коллекторному напряжению изменить полярность в ходе свободных колебаний в контуре. При изменении полярности напряжения первичная катушка трансформатора необратимо разряжается через данные диоды. Одновременно происходит скачкообразное изменение полярности напряжения обратной связи и переход транзистора в режим насыщения. Время пребывания транзистора в данном состоянии определяется, главным образом, постоянной времени $R2C5$. Частота следования высоковольтных импульсов устанавливается подбором $C5$.

Описанные меры обеспечивают плавность изменений напряжений в цепи генератора, что исключает высоковольтные скачки вызывающие пробой изоляции в цепи генератора. В тоже время, относительно плавные переключения транзистора сопровождаются выделением в нем заметной тепловой мощности. При выходной мощности 30 Вт, потребляемая от питающей сети мощность составляет 50 Вт, т. е. КПД источника около 60%. Невысокий КПД является платой за безотказность работы источника.

Литература

1. Опадчий Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника (полный курс): учебник для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров; под ред. О.П. Глудкина. – М: Горячая линия – Телеком, 2000. – 768 с.

Д.С. Панасик (УО «ГрГУ им. Янки Купалы», Гродно)
Науч. рук. **В.Г. Сорокин**, ст. преподаватель

ОПТИМИЗАЦИЯ АДСОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА

Проведены сравнительные исследования исходных образцов фильтровальной бумаги, которая используется в производстве, и образцов, подвергнутых лазерному воздействию. При подборе режимов облучения образцов, можно улучшать служебные характеристик исходных материалов, используемых в производстве фильтрующих элементов. Исследования показали увеличение поверхностной энергии фильтровальной бумаги после облучения ЛИ, что приводит к активизации поверхностного слоя и улучшению адсорбционных характеристик.

По статистике, обычный двигатель автомобиля за 10 километров пути потребляет около 15 кубических метров воздуха. Как известно, на наших дорогах в воздухе содержится множество примесей различных веществ, пыли, тяжелых металлов и прочего. Если бы не было воздушного фильтра, то всего лишь за какие-то 10 000 километров во внутреннюю часть автомобиля могло бы попасть порядка килограмма пыли и мелких частиц различных веществ. Тем самым двигатель попросту бы засорился и перестал работать [1].

На сегодняшний день самой распространенной системой фильтрации воздуха для автомобильного двигателя стали сменные сухие воздушные фильтры. Они имеют множество достоинств, среди которых главными являются долгий срок эксплуатации и хорошее качество фильтрации.

Для всех воздушных фильтров основу составляет фильтрующий элемент, который выполняет главную задачу по очистке воздуха для двигателя. Основная задача воздушных фильтров – улавливание твердых частиц (минеральной пыли, сажи, органических остатков, взвешенных в воздухе, поступающем в двигатель). Благодаря применению качественных фильтрующих материалов воздушные фильтрующие элементы могут обеспечивать эффективность очистки до 99,8 % для частиц размером в несколько микрон. Для обеспечения такой высокой эффективности фильтрации, фильтрующие элементы должны характеризоваться низким сопротивлением потока воздуха, стойкостью к ударным нагрузкам и вибрации, а так же высокой поглотительной способностью, т.е. хорошими адсорбционными характеристиками [2].

Объектом исследования взята фильтровальная бумага двух марок – А-111 и А-151 промышленного изготовления, произведенная на Украине. Эту бумагу используют на унитарном предприятии «Фильтр» ОО «БелТИЗ» для изготовления фильтрующих элементов воздушных фильтров.

Для модифицирования образцов фильтровальной бумаги использовали лазерную установку «Квант-15», генерирующие лазерное излучение с длиной волны $\lambda_0 = 1,06$ мкм и длительностью импульса $2,0 \cdot 10^{-6}$ с. Энергия однократного импульса составляла около 1,5 Дж. Напряжение накопителя 900 В. Пучок расфокусированный диаметром 5 мм. Образцы подвергались пятикратному и десятикратному воздействию.

Оптические исследования проводили на металлографическом комплексе MDS. В обоих случаях для двух марок образцов бумаги наблюдается эффект увеличения блеска после воздействия лазерного излучения. Сама структура бумаги не изменяется, а эффект увеличения блеска на снимках оптического комплекса говорит об изменении энергетического состояния поверхностного слоя фильтровальной бумаги обеих марок, что может положительно повлиять на их адсорбционные свойства и способность более эффективно задерживать инородные частицы, находящиеся в воздухе.

Результаты исследований поверхностной энергии образцов различных марок фильтровальной бумаги методом краевого угла смачивания показывают уменьшение угла смачивания, а это говорит о том, что поверхностная энергия образцов фильтровальной бумаги увеличивается. У марки А-111 это изменение более ярко выражено.

Установлен эффект изменения энергетического состояния поверхностных слоёв фильтровальной бумаги в результате исследований поверхностной энергии образцов методом спектроскопии термостимулированных токов (ТСТ – спектроскопии). Увеличение поверхностной энергии активизирует поверхность, что несомненно приводит к оптимизации адсорбционных характеристик.

Можно констатировать факт, что при подборе режимов облучения образцов, можно улучшать служебные характеристик исходных материалов, используемых в производстве фильтрующих элементов. Исследования показали увеличение поверхностной энергии фильтровальной бумаги после облучения ЛИ, что приводит к активизации поверхностного слоя и улучшению адсорбционных характеристик.

Литература

1. Чупалов, В.С. Воздушные фильтры / В.С. Чупалов и др. // Санкт-Петербург, СПГУТД, 2005. – 167 с.
2. Предназначение воздушного фильтра двигателя [Электронный ресурс] – Режим доступа: [Link:http://novosti-n.org/ukraine/read/98721.html](http://novosti-n.org/ukraine/read/98721.html) /. – Дата доступа: 26.02.2016.
3. Брандон, Д. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля / Д. Брандон, У. Каплан. – М.: Техносфера, 2004г. – 384 с.

Д.В. Повидайко (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.А. Пивоварчик**, канд. техн. наук, доцент

РАЗРАБОТКА ПРОТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КУЗОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Одним из известных способов защиты металлических конструкций автотранспорта от негативного воздействия коррозии является протекторная защита, реализация которой состоит в присоединении к защищаемой металлической конструкции более электроотрицательного металла (протектора), который растворяясь в окружающей агрессивной среде, защищает от разрушения основную конструкцию [1–3].

В настоящее время в Республике Беларусь фирма «КаПроЗа» централизованно изготавливает и реализует протекторы на основе цинка, для защиты кузовных элементов автомобилей от коррозионного воздействия. Протекторы на основе других известных материалов (магния, алюминия), с более высокими защитными свойствами производятся в Российской Федерации, Украине, за рубежом в Германии, США, Франции.

Целью данной работы является исследование эффективности использования в качестве протекторов цветных сплавов полученных на основе вторичного алюминиевого сырья.

В качестве исходных материалов, для разработки альтернативных отечественных составов протекторов, предназначенных для защиты кузовных элементов автомобилей, были приняты следующие материалы: вторичный алюминиевый лом, представленный алюминиевой проволокой и кусковыми отходами алюминиевого сплава марки АМгб, а также цинк гранулированный марки Ц0. Процентный состав материалов, используемых для получения протекторов, представлен в таблице 1. В качестве прототипа использовали протектор марки ЦП1 ГОСТ 26251–84.

Эффективность действия протекторов на основе исследуемых составов сплавов оценивали по защитному радиусу действия протектора. В качестве агрессивной среды использовали кислотный раствор, приготовленный на основе хлорида калия со значением водородного показателя $pH = 4$, что соответствует значению pH водной среды дорожного покрытия после обработки специальными растворами в зимний период. Результаты исследования эффективности действия протекторов, полученных с использованием вторичного сырья представлены на рисунке 1.

Таблица 1 – Процентный состав выбранных материалов, используемых для получения протекторов

Номер состава	Массовая доля основных компонентов в сплаве протектора, %			
	Кусковые отходы сплава марки АМгб	Алюминиевая проволока	Цинк гранулированный	ЦП1
1	100	–	–	–
2	–	100	–	–
3	–	–	100	–
4	–	97	3	–
5	–	94	6	–
6	–	91	9	–
7	–	88	12	–
8	97	–	3	–
9	94	–	6	–
10	91	–	9	–
11	88	–	12	–
12				100

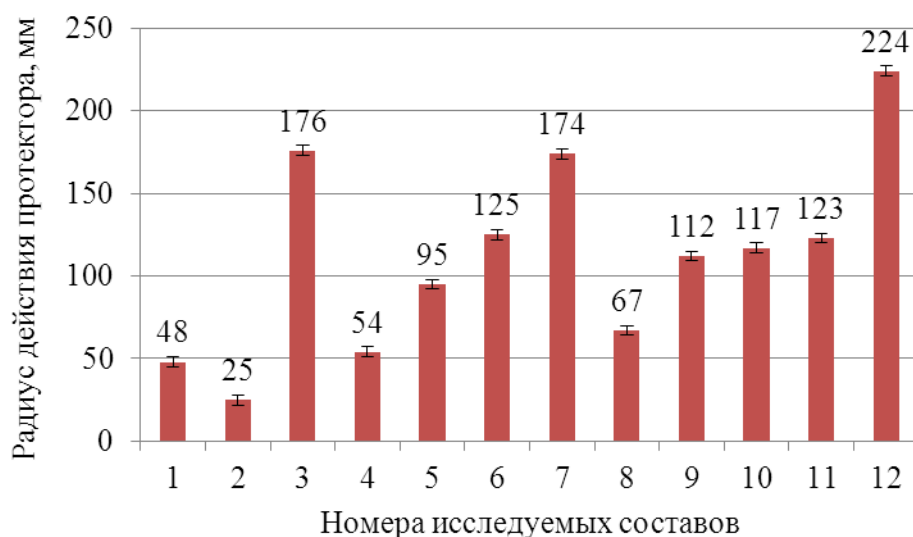


Рисунок 1 – Результаты исследования эффективности действия протекторов, полученных с использованием вторичного алюминиевого сырья

Можно видеть (рисунок 1), что наилучшими защитными свойствами по сравнению с протектором прототипом (ЦП1) обладают составы с номерами 3 и 7 на основе гранулированного цинка и алюминиевой проволоки с добавкой гранулированного цинка. При этом установлено, что радиус действия протекторов на основе кусковых отходов алюминиевого сплава марки АМгб при добавлении гранулированного цинка в количестве от 3 до 12 % от объема основы увеличивается в 1,4–2,8 раза, а в случае использования алюминиевой проволоки в среднем в 1,8–3,2 раза. Необходимо отметить, что дальнейшее увеличение количества вводимого гранулированного цинка к данным основам приводило к незначительному увеличению радиуса действия протектора, не более чем на 2–3 мм, что лежит в области погрешности проводимых экспериментов, которая в свою очередь составляет ± 3 мм. Промежуточные результаты получены при использовании составов 4 и 5, худший результат – при использовании составов с номерами 1 и 2, где в качестве шихты использовалось вторичное сырье. Полученный результат можно объяснить тем, что в шихте вторичного сырья присутствует множество коррозионно-активных примесей, таких как железо, медь и др., которые в значительной степени способствуют снижению эффективности действия полученного материала протектора.

В ходе проведенных исследований установлено, что при разработке составов протекторов с высокими антикоррозионными свойствами для защиты кузовных элементов автомобильной техники целесообразно использовать вторичное алюминиевое сырье, а именно кусковые отходы алюминиевого лома марки АМгб и алюминиевой проволоки, с добавкой

гранулированного цинка в пределах от 12 до 15 % от объема шихты. При этом защитные свойства протекторов, полученных на основе данных шихтовых материалов с добавкой гранулированного цинка, обладают достаточно высокими антикоррозионными свойствами по сравнению с протектором, выпускаемом на основе чистых исходных шихтовых материалов.

Литература

1. Бородин В. В. Защита автомобиля от коррозии электрохимическим способом: Советы бывалого. – М.: Транспорт, 1994. – 30 с.
2. Улиг Г.Г., Ревя Р.У. Коррозия и борьба с нею. Введение в коррозионную науку и технику: Пер. с англ. / под ред. А.М. Сухотина. – Ленинград: Химия, 1989. – 456 с.
3. Бэкман В., Швенк В. Катодная защита от коррозии: Пер. с нем. – М.: Металлургия, 1984.– 496 с.

М.А. Попова, А.М. Дворак (УО «БелГУТ», Гомель)
Науч. рук. **В.П. Казаченко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ИЗНОСОСТОЙКИЕ И МАСЛОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ О-ОБРАЗНЫХ РЕЗИНОВЫХ КОЛЕЦ

Важными элементами гидро- и пневмосистем являются уплотнительные элементы, выполненные из эластомеров. В настоящее время наиболее распространенным материалом для изготовления данных элементов являются резины. С развитием технологий появилась возможность повышения ресурса работы уплотнения и улучшения их эксплуатационных характеристик. Одним из возможных путей увеличения ресурса уплотнений является их поверхностная модификация.

Целью работы являлась поверхностная модификация уплотнительного кольца углеродными покрытиями, исследование стойкости к воздействию гидравлического масла, механических и триботехнических свойств.

Материалы и методы. Для модифицирования поверхности использовались бутадиен-нитрильные резиновые О-образные кольца, применяемые для уплотнения элементов гидравлических узлов. Покрытия формировали с использованием серийной вакуумной установки УВНИПА-1-001.

Стендовые испытания проводились с использованием гидравлического масла MOBIL DTE 25 в течение 250 тыс. циклов с частотой следования импульсов 1 Гц, давление в импульсе – 250 атм, температура –

(50±2) °С. Стойкость резины к воздействию гидравлического масла определялась по ГОСТ Р ИСО 1817-2009 путем измерения свойств резины до и после погружения в масло. Образцы для испытания изготавливались из резиновых уплотнительных колец. Испытания производились при полном погружении образцов в масло с температурой 70°С на 72 ч. Стойкость резины к старению при статической деформации сжатия определялась по ГОСТ 9.029-74. Старение образцов проводилось при температуре 70°С в течение 264 ч. Динамические испытания проводились с использованием измерителя вязкоупругих свойств «ИПМ-1К». Триботехнические испытания проводились на микротрибометре возвратно-поступательного действия по схеме сфера–плоскость при скорости скольжения 0,02 м/с и нагрузке 0,98 Н. В качестве индентора использовался стальной шарик (ШХ-15) диаметром 6 мм.

Результаты. Гидравлические испытания O-образных резиновых колец показали, что основными дефектами после 250 тыс. циклов являются скатки, трещины и царапины. Вероятно, на герметичность уплотнения влияет не только износ из-за выдавливания кольца в зазор, но и экстракция растворимых компонентов из резины («усыхание») в среде гидравлического масла усиливаемая влиянием повышенной температуры. Так в результате измерения вязкоупругих свойств исходной резины до и после гидравлических испытаний отмечено повышение твердости, снижение эластичности и тангенса угла механических потерь, связанные с вымыванием пластификатора из поверхностных слоев, а также со старением материала (таблица 1).

Таблица 1 – Вязкоупругие свойства исходной резины

Параметр	до испытания	после испытания
Твердость по Шору А	74,35±0,29	75,5±0,47
Эластичность по отскоку	10,82±0,37	10,13±0,45
Тангенс угла механических потерь	0,233±0,008	0,173±0,022

Влияние гидравлического масла на изменение массы образцов приведено на рисунке 1.

Испытания на стойкость к старению при статическом сжатии показали, что углеродные покрытия позволяют уменьшить относительную остаточную деформацию сжатия на 26%. Триботехнические испытания показали, что углеродные покрытия снижают коэффициент трения (рисунок 2). Это можно объяснить снижением адгезионной составляющей силы трения из-за графитизации покрытия в зоне трения и образования слоев переноса.

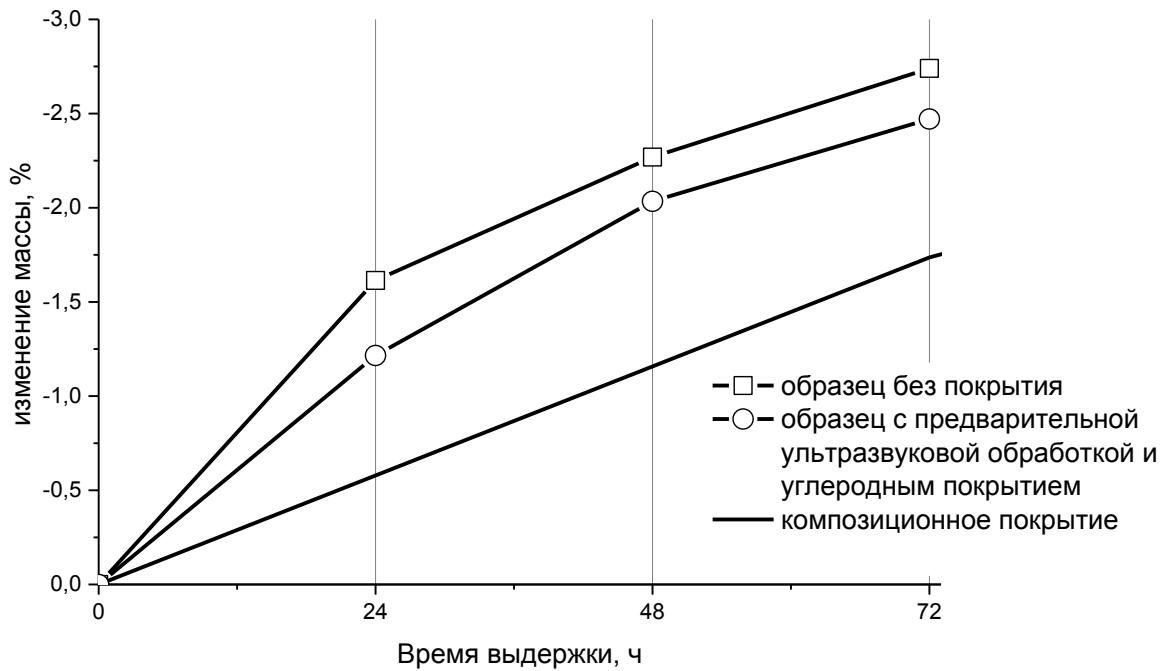


Рисунок 1 – Стойкость резины к воздействию рабочей жидкости

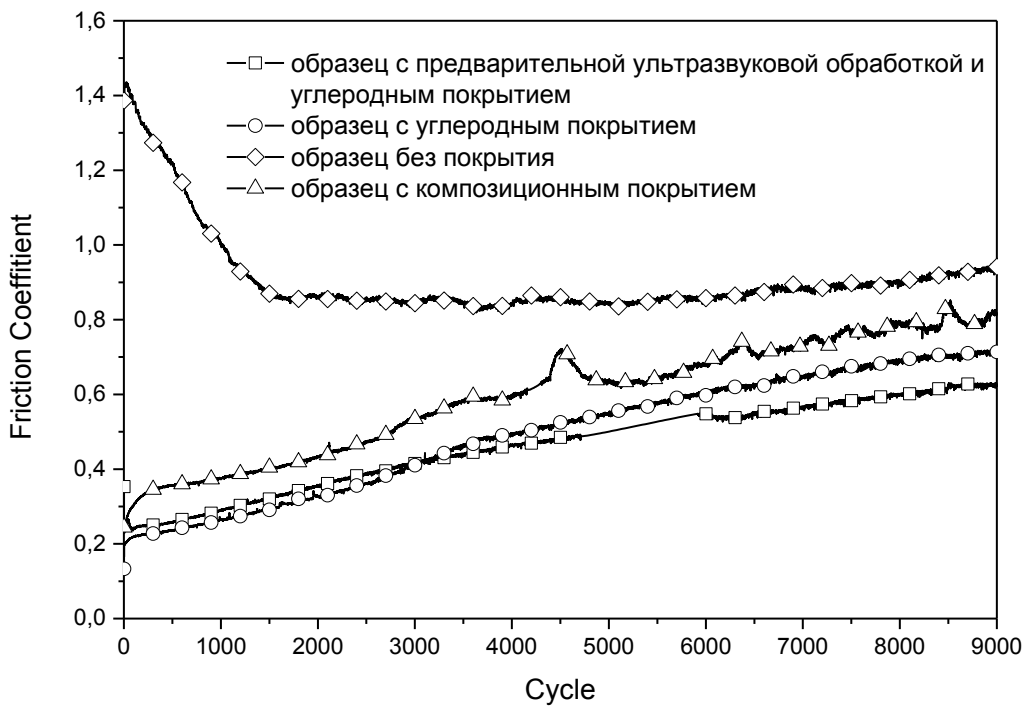


Рисунок 2 – Влияние углеродных покрытий на коэффициент трения

Выводы:

1. Установлено, что потеря герметичности резиновых элементов уплотнения гидравлического узла происходит из-за образования скаток, трещин и царапин.

2. Композиционное углеродное покрытие, полученное при распылении графита в среде азота и фреона, позволяет снизить изменение массы образцов при определении стойкости к воздействию масла; а также уменьшить относительную остаточную деформацию сжатия на 26% при испытании на стойкость к старению при статическом сжатии.

Литература

1. Попов, А.Н. Механические и триботехнические свойства резин с модифицирующими покрытиями на основе углерода [Текст] / А.Н. Попов, В.П. Казаченко, М.А. Попова, С.В. Шилько // Материалы, технологии, инструменты. – 2015. – №2. – С. 55–61.

2. Уплотнения резиновыми кольцами круглого сечения / Т.М. Башта // Машиностроительная гидравлика: справочное пособие. – 2-е изд., доп. и перераб. – М., 1971. – С. 600–606.

В.В. Рак (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», г. Гродно)
Науч. рук. **В.В. Гаврилова**, ст. преподаватель

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И РЕЖИМЫ НАНЕСЕНИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Технологический процесс нанесения лакокрасочных покрытий включает три основных стадии: подготовку поверхности, собственно окрашивание и сушку. Качество проведения работ на этих стадиях во многом определяет надежность и долговечность покрытий.

Подготовка поверхности металлов – одна из важнейших и необходимых операций при окрашивании, она определяет срок службы лакокрасочных покрытий. Любая подготовка поверхности связана с удорожанием покрытий, нередко она составляет более половины стоимости всех окрасочных работ, поэтому при выборе того или иного способа наряду с качеством очистки следует учитывать и затраты на ее проведение [1].

В последние годы для обеспечения качества поверхности и эксплуатационных свойств изделий получила распространение ультразвуковая очистка. При ультразвуковой очистке способ удаления загрязнений основан на использовании явлений, возникающих в жидких средах при возбуждении в них интенсивных упругих колебаний высокой частоты.

Целью работы являлось совершенствование технологии нанесения лакокрасочных покрытий для улучшения их эксплуатационных характеристик.

Для проведения экспериментов были изготовлены образцы с различными режимами ультразвуковой обработки. В качестве покрытия

для образцов использовали грунт-эмаль ЭП-158 ТУ ВУ 500021625.169-2012 и растворитель РЭ-158 ТУ ВУ 500021625.189-2012. В качестве подложки использовали металлические балансировочные пластины размером 30 × 60 мм толщиной 5 мм. Подготовка поверхности исходного образца проводилась в соответствии с требованиями ГОСТ 8832-76 «Материалы лакокрасочные. Методы получения лакокрасочного покрытия для испытания», раздел 3 «Подготовка окрашиваемой поверхности» [2], с использованием дробеструйного аппарата СОА-бласт. Поверхность образцов 2–5 обрабатывали ультразвуком. Для очистки использовали ультразвуковую ванну (УЗВ) «Сапфир-0,5 ТЦ». Режимы ультразвуковой очистки представлены в таблице 1.

Адгезионную прочность покрытий на исследуемых образцах определяли методом решетчатых и параллельных надрезов в соответствии с ГОСТ 8832-76; блеск покрытий изучали с помощью блескомера фотоэлектрического типа ФБ-2. Результаты испытаний на адгезионную прочность представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Режимы ультразвуковой очистки подготовки поверхности

№ образца	Режимы ультразвуковой очистки		
	Температура, °С	Время, с	Частота, кГц
1	-	-	-
2	45	60	35
3	50	60	35
4	60	60	35
5	60	90	35

Таблица 2 – Адгезионная прочность покрытий

№ образца	Режимы ультразвуковой обработки образцов	Балл адгезии	
		метод решетчатых надрезов	метод параллельных надрезов
1	Без ультразвуковой обработки	3	3
2	T = 45 °С, t = 60 с, v = 35 кГц	2	2
3	T = 50 °С, t = 60 с, v = 35 кГц	1	1
4	T = 60 °С, t = 60 с, v = 35 кГц	2	2
5	T = 60 °С, t = 90 с, v = 35 кГц	2	2

Согласно полученным результатам применение ультразвуковой очистки способствует повышению адгезионной прочности покрытий. На поверхности образца без ультразвуковой очистки наблюдалось отслаивание покрытий вдоль линии надрезов до 35 %. Края надрезов лакокрасочного покрытия образца № 3 гладкие, без кусочков отслоившихся

покрытий. На образцах 2, 4,5 наблюдалось незначительное отслаивание покрытия в виде мелких чешуек в местах пересечения линий решетки и по ширине полосы вдоль надреза.

Результаты измерений степени блеска поверхности образцов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты измерения блеска исследуемых покрытий

Номер образца	Режимы ультразвуковой обработки образцов	Значения блеска, %	Степень блеска
1	Без ультразвуковой обработки	34	полуматовое
2	$T = 45^{\circ}\text{C}$, $t = 60\text{ с}$, $\nu = 35\text{ кГц}$	37	полуглянцевое
3	$T = 50^{\circ}\text{C}$, $t = 60\text{ с}$, $\nu = 35\text{ кГц}$	38	полуглянцевое
4	$T = 60^{\circ}\text{C}$, $t = 60\text{ с}$, $\nu = 35\text{ кГц}$	39	полуглянцевое
5	$T = 60^{\circ}\text{C}$, $t = 90\text{ с}$, $\nu = 35\text{ кГц}$	39	полуглянцевое

Анализ результатов показал, что с увеличением температуры ультразвуковой обработки увеличивается значение блеска.

Таким образом, применение ультразвуковой очистки для подготовки поверхности металлов под окраску позволит получить покрытия с высокой адгезионной прочностью и улучшенными декоративными характеристиками. В результате исследований установлено, что наиболее оптимальными являются следующие режимы ультразвуковой очистки: $T = 50^{\circ}\text{C}$, $t = 60\text{ с}$, $\nu = 35\text{ кГц}$.

Литература

1. Яковлев, А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий: учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. / А.Д. Яковлев. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. – 448 с.: ил.
2. Материалы лакокрасочные. Термины, определения и обозначения: ГОСТ 9825-73 – Введ. 01.01.74 – М.: Издательство стандартов, 1973. – 7 с.

И.И. Рушнова, Ю.Ю. Адамович (УО «БГУ», Минск)

Науч. рук. **Е.А. Мельникова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ЭЛЕКТРИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫЕ ДИФРАКЦИОННЫЕ ЖК ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ

В работе предложен метод изготовления электрически управляемых дифракционных жидкокристаллических структур. Экспериментально исследованы поляризационные особенности и дифракция света на управляемых

пространственно-структурированных слоях ЖК. Разработана теоретическая модель расчета преобразования фазово-поляризационных характеристик световых полей, хорошо согласующаяся с экспериментальными результатами.

Электрически управляемые ЖК элементы широко используются при создании современных оптоэлектронных устройств, осуществляющих управление характеристиками световых полей и отображение информации (модуляторы, дисплеи, индикаторы) [1]. В связи с дешевизной изготовления, популярностью и простотой в использовании активно исследуются иные новые возможности применения жидких кристаллов. Так, одним из направлений является разработка дифракционных ЖК элементов, позволяющих изменять не только пространственную структуру пучка, но и контролировать его поляризационные характеристики [2,3].

Разработанный и изготовленный электрически управляемый дифракционный элемент представляет собой жидкокристаллическую ячейку с прозрачными электродами. Формирование дифракционной структуры в ЖК слое осуществляется посредством пространственно-неоднородной начальной ориентации директора молекул ЖК задаваемой фотополимерным ориентирующим покрытием при его натирании в заданном направлении и засветке ультрафиолетовым излучением.

Для задания начальной ориентации директора в ЖК слое использовался фотоориентирующий бензальдегидсодержащий фотополимер, который из 2 %-го раствора полимера в этилацетате методом центрифугирования наносился на стеклянные подложки, покрытые прозрачным токопроводящим слоем окиси индия. Толщина полимерного слоя составляла $\sim 0,1$ мкм. Задание необходимого направления ориентации жидкого кристалла производилось методом двухслойного механического натирания фотополимера. Вначале осуществлялось экспонирование неполяризованным УФ излучением натертых в одинаковом направлении полимерных слоев, нанесенных на две стеклянные подложки. Затем на одну из подложек наносился следующий слой полимера, который натирался в ортогональном направлении, и засвечивался через предварительно рассчитанную маску-транспарант на кварцевом стекле, представляющую собой амплитудную решетку с периодом $d = 40$ мкм. Незасвеченные области фотополимера удалялись в этилацетате. Заполнение оптической ячейки жидким кристаллом осуществлялось в вакуумной камере. Толщина ЖК слоя составляла 20 мкм. В работе использовался нематический ЖК 1289 (оптическая анизотропия $\Delta n = 0,156$ на длине волны $\lambda = 633$ нм). При такой топологии засветки ориентирующего фотополимера в объеме ЖК формировались чередующиеся области с твист- и планарной ориентацией директора.

Управление созданным элементом осуществляется подачей электрического сигнала частотой 1 КГц с необходимой амплитудой напряжения.

При подаче оптимальной величины напряжения дифракционная эффективность элемента достигает значения порядка 27 %, близкого к предельному значению, характерному для тонких фазовых решеток. Также была исследована зависимость дифракционной эффективности ЖК ячейки от состояния поляризации падающего на нее света и зависимость состояния поляризации выходного светового поля в порядках дифракции от приложенного к ЖК ячейке напряжения. Экспериментальные результаты по определению состояния поляризации света в порядках дифракции согласуются с теоретически рассчитанными результатами с помощью матриц Джонса.

Таким образом, в работе предложена топология, разработан и экспериментально и теоретически исследован жидкокристаллический электрически управляемый дифракционный элемент, позволяющий эффективно управлять лазерным излучением, контролируя его пространственные и поляризационные характеристики.

Литература

1. Olenskaya I.I., Kabanova O.S., Melnikova E.A. Liquid Crystal Waveguide Elements With Different Topology of Modulation of Interface Refractive Areas // Proceedings Samara Scientific Center RAS. 2015. Vol. 17. N. 2. P. 87–91.
2. Kazak A.A., Melnikova E.A., Tolstik A.L., Komar A.A. “Operation with Laser Radiation by Using of Liquid Crystal Elements” Nonlinear Phenomena in Complex Systems, vol. 16, no. 3, pp. 302 – 308, 2013
3. Kazak A.A., Kazak L.A., Melnikova E.A., Tolstik A.L. “Diffraction liquid crystals elements for formation vortex light fields” Journal of BSU. Issue.1. № 1, 2011.

А.О. Савченко (УО «ГГУ им. Ф.Скорины», Гомель)
Науч.рук. **Г.Л. Карасёва**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ИНТЕРНЕТ ТЕХНОЛОГИИ В СФЕРЕ РАЗВЛЕЧЕНИЙ

Интернет технологии тесно переплелись практически с каждой сферой нашей повседневной жизни. Не остался без должного внимания и интерактивный аспект. С развитием онлайн индустрии развлечения перешли на качественно другой уровень – это касается общения, музыкальной, игровой и киноиндустрии. Если раньше для того, чтобы посмотреть долгожданный фильм, вы должны были отложить деньги на лицензионный диск или на поход в кино, то сегодня все кардинально изменилось в лучшую сторону.

Вместе с появлением онлайн кинотеатров теперь для киноманов открыт доступ к бездонному и необъятному миру кино. Учитывая скорость съемки новых фильмов, а также ассортимент представленных в рядовом онлайн кинотеатре картин, начиная от черно-белой классики и заканчивая самыми свежими блокбастерами, можно с уверенностью сказать, что одной человеческой жизни вряд ли хватит, чтобы пересмотреть все.

Заслуживают внимания и главные особенности онлайн кинотеатров – в большинстве своем они бесплатны и просты в использовании. Всего несколько щелчков мышкой отделяют среднестатистического пользователя от просмотра интересующего его фильма, даже если он еще не определился с тем, что собирается смотреть. Вы можете упростить себе поиск, обратив внимание на предложенные категории фильмов, рассортированных по жанрам или рейтингу, найти людей со схожими вкусами и подобрать что-нибудь из их коллекции, ознакомиться с пользовательскими отзывами и рецензиями.

Разработанный сайт онлайн кинотеатра написан на языке C# с использованием ASP.NET MVC фреймворка.

ASP.NET MVC представляет собой платформу для создания сайтов и веб-приложений с использованием паттерна (или шаблона) MVC (model – view – controller). Шаблон MVC, лежащий в основе новой платформы, подразумевает взаимодействие трех компонентов: контроллера (controller), модели (model) и представления (view).

Контроллер (controller) представляет класс, с которого собственно и начинается работа приложения. Этот класс обеспечивает связь между моделью и представлением. Получая вводимые пользователем данные, контроллер исходя из внутренней логики при необходимости обращается к модели и генерирует соответствующее представление.

Представление (view) – это собственно визуальная часть или пользовательский интерфейс приложения – например, html-страница, через которую пользователь, зашедший на сайт, взаимодействует с веб-приложением. Модель (model) представляет набор классов, описывающих логику используемых данных.

А.А. Северин (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)

Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

СОСТАВЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ БЕЗОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ ДЛЯ ИНСТРУМЕНТА

Состояние металлорежущего инструмента в процессе механической обработки в значительной мере определяет качество обрабатываемой

поверхности, силы резания, а, следовательно, устойчивость процесса резания и производительность обработки. Поэтому, к современному металлорежущему инструменту предъявляются повышенные требования: он должен иметь высокую сопротивляемость к изнашиванию и хрупкому разрушению в условиях механических и тепловых нагрузок.

Процесс обработки металлов резанием может быть существенно усовершенствован за счёт применения функциональных покрытий для режущего инструмента [1].

Работоспособность режущего инструмента может быть повышена благодаря такому изменению поверхностных свойств инструментального материала, при котором контактная поверхность инструмента будет наиболее эффективно сопротивляться абразивному, адгезионному, коррозионно-окислительному и др. видам износа как при комнатной, так и при повышенной температурах.

Эффективность обработки материалов резанием зависит от условий, имеющих место в зоне стружкообразования и на контактных поверхностях инструмента. Целенаправленное изменение этих условий в процессе резания позволяет повысить эффективность обработки труднообрабатываемых материалов [1–2].

Нанесение покрытий на инструментальный материал позволяет создать на его поверхности новый комплекс свойств с сохранением необходимых свойств основы. Это направление повышения стойкости инструмента в настоящее время является наиболее важным. Существует большое число методов получения покрытий на рабочих поверхностях режущего инструмента. Отвечая ряду требований, покрытие, в конечном счете, должно характеризоваться высокой износостойкостью. Следовательно, оно должно обладать высокими термической стойкостью, механическими свойствами и прочностью сцепления с инструментальной основой. Выбор покрытия осуществляется в зависимости от типа обрабатываемого материала и области его применения. Покрытие на металлорежущем инструменте должно обладать максимальной инертностью к обрабатываемому материалу, поэтому необходимо учитывать тип химической связи материала покрытия.

Методами CVD наносятся покрытия на основе нитридов, карбидов, оксидов и карбонитридов тугоплавких металлов. Кроме того, с их помощью наносятся покрытия с алмазоподобной структурой. Наибольшее распространение в инструментальном производстве получили следующие соединения, формируемые процессами CVD: TiN, TiC, TiCN, ZrCN и др. Указанные соединения применяются как в качестве однослойных покрытий, так и в качестве отдельных слоев многослойного покрытия [2].

Одними из наиболее важных параметров, определяющих эксплуатационные качества режущего инструмента, являются его работоспособность и производительность. Обеспечить максимизацию этих параметров, значит повысить скорость работы инструмента, сэкономить дорогостоящий материал, энергию и трудовые ресурсы.

В работе предложены решения о целесообразности применения износостойких покрытий на основе безоксидной керамики для режущего инструмента – сверла из стали P6M5. В частности, по изменению использования режущего инструмента, путем замены сверл из быстрорежущей стали P6M5 на сверла с покрытием нитрид титана (TiN).

Цель исследования заключается в оценке эксплуатационного ресурса режущего инструмента с покрытиями на основе безоксидной керамики в условиях промышленного применения.

Исследования производили на предприятии ОАО «Гродно Азот». В ходе исследования сверл (два цилиндрических сверла польской фирмы SARIUS), на одном из которых нанесено износостойкое покрытие нитрид титана TiN. Покрытие сформировано методом химического осаждения CVD, в основе метода лежат реакции конденсации составов из парогазовой среды [2]. Исходными продуктами служат газообразные галогениды, при взаимодействии которых с другими составляющими смесей (водородом, аммиаком, окисью углерода и т. д.) образуется покрытие. Разложение галогенида происходит за счет термической химической реакции при $T = 1000...1100^{\circ}\text{C}$. Оценку твердости производили по методу Роквелла. Измерение шероховатости поверхности сверл проводили прибором Mar Surf PS1.

Результат измерения твердости для сверла P6M5 без покрытия TiN составил 58 ед. по HRC, для сверла из стали P6M5 с покрытием TiN – 67 ед. по HRC. По результатам оценки шероховатости поверхности для сверла P6M5 без покрытия шероховатость составила 0,890 по Ra, для сверла из стали P6M5 с покрытием TiN значение шероховатости – 0,555 по Ra.

Ресурс эксплуатации (стойкость инструмента) определяли по количеству просверленных отверстий до первой переточки. Свёрла из быстрорежущей стали P6M5, диаметр сверл 8,0 мм, длина – 115 мм.

Инструментом без покрытия было просверлено 26 отверстий, а инструментом с покрытием TiN было просверлено 41 отверстие при обработке стали 08X17H5M3 без использования смазывающе-охлаждающей жидкости.

Анализ результатов испытаний режущего инструмента позволяет сделать вывод, что при нанесении износостойких покрытий нитрид титана (TiN) стойкость инструмента при обработке стали 08X17H5M3 без использования смазывающе-охлаждающей жидкости увеличивается в $\sim 1,6$ раз.

Литература

1. Самсонов, Г.В. Тугоплавкие покрытия / Г.В. Самсонов, А.П. Эпик. М. : Металлургия, 1973. – 397 с.
2. Григорьев, С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента: учеб. пособие / С.Н. Григорьев, В.П. Табаков, М.А. Волосова. – М. : Машиностроение, 2009. – 368 с.: ил.

А.В. Ситак (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПОСУДОМОЕЧНЫХ МАШИН

Литье под давлением относится к одному из наиболее распространенных технологических процессов, которые используются для производства изделий из полимерных материалов. Данный способ изготовления обладает настолько высокой гибкостью, что его можно использовать как для получения очень небольших по размеру изделий, применяемых в электронике и медицине, до больших изделий, используемых в автомобилестроении и строительной отрасли. Рост в индустрии литья под давлением в значительной степени обеспечен появлением новых технологий литья под давлением и новых полимерных материалов [1–5].

Однако изделия из полимерных материалов не всегда соответствуют прочностным характеристикам и достаточно дорогостоящие. Основной целью представленной работы является исследование технологических особенностей изготовления композиционных материалов методом литья под давлением и повышение эксплуатационных характеристик изготавливаемого изделия, а также снижение стоимости готового продукта.

Создание и применение композитов – один из наиболее перспективных путей обеспечения производства конструкционными материалами, позволяющими повысить рабочие параметры новой техники и экономию ресурсов [3–5].

Современные композиты сочетают высокую прочность и незначительную массу. Их использование в машинах, оборудовании, сооружениях позволяет снизить вес конструкции на 25...50 %, трудоемкость их изготовления в 1,5–3 раза, энергоемкость производства в 8...10, материалоемкость в 1,6–3,5 раза. За счет применения композитов можно в 1,5–3 раза увеличить технический ресурс машин, снизить до минимума потери от коррозии, расход топлива.

Литьем под давлением перерабатываются как аморфные, так и кристаллические полимеры [3].

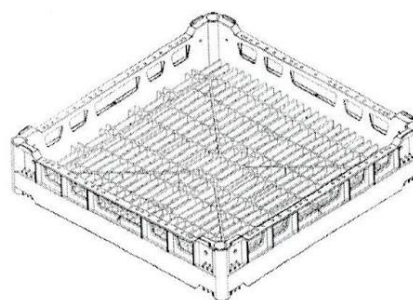
В качестве материалов для исследования были взяты полимеры ПП и ПЭНД в гранулах, которые подвергали измельчению на лабораторной дезинтеграционной установке.

Полученные результаты исследования ПТР композиций свидетельствуют о том, что при увеличении концентрации ПЭНД в ПП показатель текучести композиций уменьшается [6].

В рамках работы были изучены технологические особенности изготовления изделий из смесевых материалов, таких как кассета для мытья и хранения посуды производства ЧТУП «Алика Республика Беларусь» (рисунок 1,а) [7]. Кассету изготавливали из полипропилена PP500P. После изучения всех аспектов и технологических особенностей производства данных кассет и по результатам проведенных опытов был составлен техпроцесс для изготовления кассет из композиции полипропилена 90 % и полиэтилена низкого давления 10 %, а также авторское техническое исполнение изделия (рисунок 1,б).



а)



б)

Рисунок 1 – Характерный вид кассеты до оптимизации – а) (производства ЧТУП «Алика Республика Беларусь») и после – б)

Основное предназначение изделия является многозадачное: мытьё, хранение и транспортировка посуды, а также может использоваться для транспортировки и хранения пищевой и непищевой продукции.

Технические характеристики:

- наружные габариты: длина 500 мм, ширина 500 мм, высота 108 мм;
- стенки и дно решетчатые, что позволяет эффективно выводить влагу и конденсат, при этом облегчается конструкция тары в целом;
- перфорация обеспечивает хорошее смывание отходов продуктов общепита и доступ воздуха помогает быстрой сушке посуды;
- легко штабелируется «один на один» в пустом и наполненном состоянии;
- допускается эксплуатация в диапазоне температур от минус 30 °С до плюс 90 °С;
- удобные ручки для перемещения ящиков вручную.

Преимущества разработанного решения для данной кассеты:

- долговечность (может эксплуатироваться в течение пяти и более лет);
- устойчивость к внешним воздействиям (кассета не теряет своих свойств и не деформируются при воздействии моющих средств, а также влаги и жира);

- удобство эксплуатации (упрощает процесс мойки посуды, её хранения и транспортировки). Благодаря особенностям конструкции пустая тара в сложенном состоянии хранится с минимальными затратами складской площади.

Технологические режимы производства кассеты для мытья и хранения посуды осуществляется в однонздную форму при температуре не более 60 °С, осуществляется контроль температуры в зонах цилиндра, на выходе из цилиндра температура не должна превышать 260 °С. Весь цикл литья кассеты составляет 183 с, из которых время выдержки под давлением 12 с, а время охлаждения 121 с, при давлении впрыска 165 кгс/см².

По результатам проведённых исследований можно сделать вывод, что композиция ПП 90 мас. % + ПЭНД 10 мас. % обладает оптимальным сочетанием физическо-механических и реологических свойств. Таким образом, состав композиции ПП 90 мас. % + ПЭНД 10 мас. % можно рекомендовать в качестве материала для изготовления кассеты для мытья и хранения посуды.

Литература

1. Мозберг, Р.К. Материаловедение / Р.К. Мозберг. – М. : Высшая школа, 1991. – 448 с.

2. Красовский, В.Н. Сборник примеров и задач по технологии переработки полимеров / В.Н. Красовский. – М. : Высшая школа, 1984 – 320 с.

3. Крыжановский, В.К Производство изделий из полимеров / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов. - С – Пб. : Профессия, 2004 – 460 с.

4. Калинин, Э.Л. Оборудование для литья пластмасс под давлением / Э.Л. Калинин. – М. : Машиностроение, 1985. – 256 с.

5. Шаравин, А.Е. Основы технологии литья пластмасс / А.Е. Шаравин, С.Ю. Зорин. – М. : Арсенал, 2012 – 168 с.

6. Кербер, М.Л. Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии / М.Л. Кербер. – С-Пб. : Профессия, 2008. – 560 с.

7. Калинин, Э.Л. Технологические основы автоматического управления литьевыми процессами при переработке пластмасс / Э.Л. Калинин. – М. : Машиностроение, 1987 – 520 с.

А.Н. Слепченко (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ликвидация ручных погрузочно-разгрузочных работ, исключение тяжелого ручного труда при выполнении основных и вспомогательных производственных операций немислимы без использования широкого комплекса транспортирующих машин [1–2]. Ленточными конвейерами материал перемещают как в горизонтальном, так и в наклонном направлениях бесконечной прорезиненной лентой, огибающей приводной и натяжной барабаны. Наряду с тем, что ленточные конвейеры получили широкое применение в строительной индустрии, отмечено их широкое применение в пищевой отрасли [1].

На большинстве предприятий пищевой отрасли в качестве материала для изготовления систем транспортировки используются стекло, керамика, пластмасса, сталь, алюминий, медь и медные сплавы [1–2]. Внутренние поверхности должны иметь гладкую поверхность с целью уменьшения гидравлических потерь.

В конструкциях ряда узлов трения используют покрытия на основе полимеров, снижающие коррозионно-механический износ сопряжения, предотвращающие образование задиров поверхностей терния при недостатке или отсутствии внешней смазки, уменьшающие ударное взаимодействие элементов узла при начале движения и остановке транспортного средства. Наибольшее распространение получили полиамидные покрытия, обладающие оптимальным сочетанием деформационно-прочностных, триботехнических и экономических параметров [3–4].

Алифатические полиамиды обладают низким коэффициентом трения (коэффициент трения полиамидов по стали без смазки 0,1–0,2), достаточно износостойкие, способны работать в интервале температур от –40 до +80°C [3–4].

Материалы для оборудования пищевых производств должны обладать нейтральностью материала к продукту, т. е. отсутствие воздействия продукта на материал; нейтральностью продукта к воздействию материала; работоспособностью материала с точки зрения технологического процесса [4]. Вышеперечисленные требования актуальны и для производственного процесса ОАО «Скидельский сахарный комбинат».

Среды свеклоперерабатывающего отделения сахарного производства, как правило, нейтральные или слабокислые ($\text{pH} = 6\text{--}7$, $T = 14\text{--}45\text{ }^\circ\text{C}$). В число несхаров входит до 5 % азотистых и безазотистых соединений. Среды сокоочистительного отделения сахарного

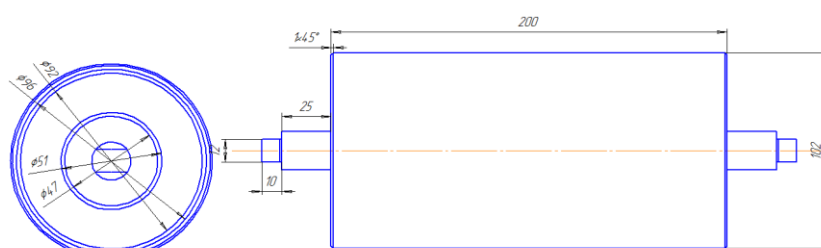
производства по составу более разнообразны и обладают повышенной щелочностью ($\text{pH} = 8\text{--}14$, $T = 65\text{--}96\text{ }^\circ\text{C}$). Они содержат известковое молоко, дефекованный и сатурированный соки с содержанием различного количества гидроксида кальция, углекислого кальция, оксида кремния и других взвешенных частиц, обладающих достаточно высокими абразивными свойствами.

Среды продуктового отделения — слабощелочные ($\text{pH} = 8 - 9$) с содержанием большого количества сахаров (25–65 %). Эти среды можно условно разделить на две группы: утфели (продукты кристаллизации) и аффинационные массы, содержащие до 40–70 % сахара, патоки и большое количество нес сахаров.

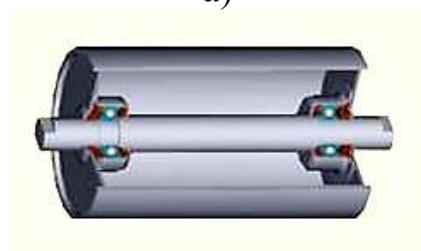
В транспортирующих системах пищевой промышленности недопустимо применение смазки. Кроме того, к числу наиболее часто встречающихся видов выхода из строя ленточных конвейеров является массовый и линейный износ рабочих поверхностей [2]. В связи с этим было предложено применение антифрикционных покрытий на основе полиамидных составов.

Объектом исследования является ролик ленточного конвейера, эксплуатируемого на ОАО «Скидельский сахарный комбинат» (рисунок 1). Корпус ролика изготовлен из стали 3. В качестве материала для покрытий использовали полимерный материал ПА6-210/310, промышленно выпускаемый ПТК «Химволокно» ОАО «Гродно Азот».

Функциональные покрытия наносили на поверхность металлического образца. На рисунке 1,б показана типичная конструкция роlikоопоры со сквозной осью в разрезе, на котором изображена внутренняя конструкция роlikоопоры ленточного конвейера.



а)



б)

а – чертёж роlikоопоры; б – роlikоопора в разрезе

Рисунок 1 – Характерный вид роlikоопоры ленточного конвейера

Условия работы роlikоопор ленточного конвейера достаточно жесткие ввиду того, что продукт, который транспортируется по данному транспортёру – сахар, который является весьма агрессивной средой, а нагрузки, которые может выдержать лента длиной 5,5 м и шириной ленты равной 0,8 м – высокие.

Сахар – вещество, способное налипать на ленту конвейера, и вследствие этого происходит ускоренное изнашивание поверхности роlikоопоры. В свою очередь налипание сахара на роlikоопору приводит к катастрофическому изнашиванию. Для устранения вышеуказанных неблагоприятных факторов было принято решение нанести на поверхность обечайки роlikоопоры покрытие из ПА 6. В результате чего ожидается снижение коэффициента трения поверхности роlikоопоры, что позволит повысить ресурс эксплуатации не только поверхностного слоя обечайки роlikоопоры, но и контактирующей с ней ленты.

Выводы. Предложены решения по восстановлению поверхностей роlikоопор за счет применения износостойкого полимерного покрытия на основе полиамидов, сформированного методом осаждения из псевдооживленного слоя. Предлагаемое решение позволит продлить ресурс триботехнического узла без изменения конструктивного исполнения не менее чем на 30–40 %.

Литература

1. Вайсон, А.А. Подъемно-транспортные машины / А.А. Вайсон. – М. : Машиностроение, 1989. – 536 с.

2. Петров, Л.М. Формирование композиционных износостойких покрытий: состав, технология, состояние подложки, структура / Л.М. Петров, С.Я. Бецофен, В.В. Дервук // Научные труды МАТИ, вып. 1(73), М.: Латмэс, 1998. – С. 67–71.

3. Воронцов, А.С. Технология покрытий: лаб. практикум по одноименной дисциплине для студентов специальности «Оборудование и технологии высокоэффективных процессов обработки материалов» / А.С. Воронцов, В.В. Гаврилова, Л.В. Михайлова; под ред. В.А. Струка; УО «Гродненский государственный университет им. Я. Купалы». – Гродно: ГрГУ, 2013. – 47 с.

4. Триботехнические и композиционные материалы: лаб. практикум по одноименной дисциплине для студентов специальности «Оборудование и технологии высокоэффективных процессов обработки материалов»: в 2 ч. / УО «Гродненский государственный университет им. Я.Купалы»; [В.В. Гаврилова и др.]; под общ. ред. В.А. Струка. – Гродно: ГрГУ, 2013–2014. – Ч. 1: Триботехнические материалы. – 2013. – 39 с.

А.М. Сокович (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИЕ СОСТАВЫ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕКАЧИВАНИЯ ВЫСОКОВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ

Введение. Современные технологические процессы промышленного производства неизбежно осуществляются в жидкой фазе. Поскольку перемещаемые жидкости не одинаковые по вязкости, температуре и коррозионным свойствам, необходимо использовать специальное оборудование – насосы [1]. Насосы для перекачивания вязких и плотных жидкостей – это насосы специальной усиленной конструкции для передачи сред вязкостью до 1 000 000 сП.

Для изготовления деталей и узлов промышленных насосов применяются различные материалы и композиционные составы. Все материалы различаются в зависимости от условий их применения. В основном используются различные конструкционные стали и сплавы, полимеры и полимерные композиционные материалы на основе натуральных или синтетических каучуков, а также различные минеральные материалы и неорганические химические соединения. Основные требования при выборе материалов для изготовления деталей и узлов – надежность и долговечность работы; экономичность и удобство эксплуатации [2]. Производительность и качество работы любого промышленного оборудования напрямую зависит от состояния его рабочих элементов. Быстрый износ таких деталей, кроме затрат средств на изготовление запасных комплектов, приводит также к простоям технологического оборудования [3].

Цель исследования заключается в разработке составов для герметизации насосного оборудования при перекачивании высоковязких жидкостей для повышения надежности работы насоса и ресурса эксплуатации.

В качестве объекта исследования выбран узел насосного оборудования, представляющий собой уплотнительный элемент вала, который состоит из корпуса (нержавеющая сталь), накладок и внутренней втулки из силицированного графита и уплотнительных элементов в виде резинотехнических прокладок. Сборка внутренней втулки с корпусом осуществляется с натягом методом запрессовки. Данный уплотнительный узел применяется в эксцентриковом шнековом насосе NETZSCH NEMO ВР, который используется на ОАО «Агрокомбинат «Скидельский»» для перекачивания рапсового масла в процессе его производства. Рапсовое масло – маслянистая жидкость бурого цвета, приобретающая после рафинирования светло-желтый цвет и представляет собой смесь моно-, ди- и триацилглицеринов, которые содержат в своем составе молекулы

различных жирных кислот. Используется в качестве энергетической кормовой добавки в комбикормах.

Трение приводит к износу и вала и уплотнения, и поэтому уплотнения недолговечны и требуют регулярного осмотра и замены.

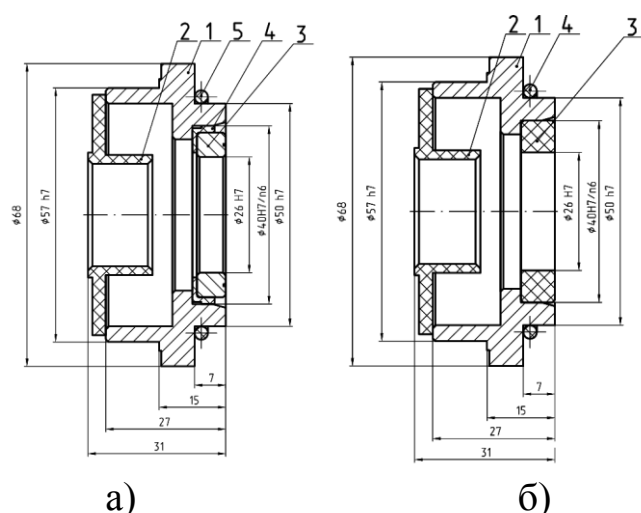
Материалы пары трения должны обладать особыми свойствами, ведь они непрерывно находятся в плотном контакте друг с другом и при этом двигаются друг относительно друга очень быстро (со скоростью вращения вала насоса). Их поверхность должна быть предельно гладкой, а способность противостоять износу очень высокой.

Как упоминалось выше, на сегодняшний момент в конструкции уплотнения эксцентрикового шнекового насоса применяется внутренняя втулка из силицированного графита. Однако, силицированный графит является дорогостоящим материалом, и износ втулки приводит к увеличению затрат на техническое обслуживание и ремонт насосного оборудования.

Для решения данной проблемы предлагается для изготовления внутренней втулки, которая в процессе работы насоса образует пару трения с валом, использовать более дешевые и доступные материалы. Предлагается в качестве таких материалов использовать политетрафторэтилен (или фторопласт-4), а также композиционный материал на его основе. Политетрафторэтилен (ПТФЭ) или фторопласт-4 – высокомолекулярный кристаллизованный полимер – уникальный материал, в котором водород частично или полностью замещен на фтор, относится к искусственным материалам и не имеет природных аналогов [4]. Особенности химического строения макромолекул и надмолекулярной структуры ПТФЭ в совокупности с физико-химическими свойствами определяют его уникальные триботехнические свойства. ПТФЭ обладает самым низким коэффициентом трения в условиях трения без смазочного материала по сравнению с другими полимерами. Низкий уровень поверхностной энергии и межмолекулярного взаимодействия определяет многие свойства полимера и, в первую очередь, низкие уровни поверхностного натяжения и смачиваемости, адгезионную способность и, как следствие, хорошие антифрикционные свойства [2].

В рамках представленной работы предлагается заменить пару из внутренней втулки из силицированного графита и уплотнительного элемента в виде резиновой прокладки (рисунок 1, а) на втулку, изготовленную из фторопласта или композита на его основе (рисунок 1, б) [5].

Заключение. В результате проведенных исследований установлено, что предлагаемые материалы по своим физико-механическим характеристикам не уступают традиционному силицированному графиту, а учитывая более низкую стоимость и доступность, применение данных материалов позволит уменьшить затраты на техническое обслуживание и ремонт насосного оборудования.



- а – объект исследования до оптимизации: 1 – корпус; 2 – накладка; 3 – втулка (силицированный графит); 4 – прокладка; 5 – кольцо;
 б – объект исследования после оптимизации: 1 – корпус; 2 – накладка; 3 – втулка («ПТФЭ»); 4 – кольцо

Рисунок 1 – Конструкция герметизирующего узла

Литература

1. Карелин, В.Я. Насосы и насосные станции: учеб. для вузов, 2-е изд., перераб. и доп. / В.Я. Карелин, А.В. Минаев. – М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.
2. Александров, В.И. Проектирование и эксплуатация насосных и компрессорных станций / В.И. Александров, Е.И. Крапивский, О.В. Кабанов. – Санкт-Петербург: СПГГИ, 2010. – 52 с.
3. Довгяло, В.А. Методы повышения работоспособности машин и механизмов: курс лекций / В.А. Довгяло. – Гомель, БелГУТ, 2003. – 138 с.
4. Паншин, Ю.А. Фторопласты / Ю.А. Паншин, Малкевич С.Г., Дунаевская Ц.С. – Ленинград: «Химия», 1978. – 232 с., ил.
5. Резина. Метод определения твердости по Шору А: ГОСТ 263-75 – Введ. 01.01.1977 – М.: Издательство стандартов, 1989. – 6 с.

К.А. Соляникова (УО «БГУ», Минск)

Науч. рук. **Ю.М. Покотило**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ КРЕМНИЙ-ГЕРМАНИЙ, ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ ВОДОРОДА

Интерес к исследованию электрофизических свойств твердых растворов Ge_xSi_{1-x} связан с практической значимостью таких объектов для

создания транзисторов с высокой подвижностью носителей заряда в канале [1]. Вследствие значительных механических напряжений растяжения или сжатия из-за присутствия Si в решетке Ge и наоборот происходит расщепление долин и значение подвижности носителей заряда может в несколько раз превышать таковое для ненапряженного материала. В настоящей работе исследуется влияние упругих напряжений на энергию ионизации радиационных дефектов.

Исследования проводились на объемных монокристаллических образцах твердых растворов $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ ($x = 1 - 0.026$) с удельным сопротивлением $1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, на которых путем напыления золота изготавливались диоды Шоттки. Имплантация ионами водорода с энергией 300 кэВ осуществлялась через металлический (Au) контакт. На рисунке 1 представлены профили распределения электронов в кристаллах кремния. Параметры дефектов с глубокими уровнями определялись из измерений спектров нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней (НЕСГУ) [2].

На рисунке 1 представлен спектр НЕСГУ при фиксированном значении окна регистрации, равном 10^{-3} с , для твердых растворов $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ в широком диапазоне изменения компонентного состава. Видно, что в спектре наблюдается один пик, обусловленный радиационным дефектом в состав которого входит атом водорода [3]. Причем максимум пика смещается от 218 К для чистого германия до 231 К для $\text{Ge}_{0,97}\text{Si}_{0,03}$, хотя, согласно теории НЕСГУ [2], при постоянном значении окна регистрации положение пика должно быть фиксированным. Этот факт указывает на то, что изменяются сечение захвата (σ) и энергия ионизации дефекта (ΔE). Действительно, из анализа спектров НЕСГУ при различных значениях окна регистрации методом Аррениуса [2] определены $\Delta E = 0,31 \text{ эВ}$ и $\sigma = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ для Ge и $\Delta E = 0,36 \text{ эВ}$, $\sigma = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ для $\text{Ge}_{0,97}\text{Si}_{0,03}$

Энергия ионов водорода 300 кэВ , Доза облучения 10^{15} см^{-2} .

Аналогичные данные получены в кремнии с примесью германия. Так температура максимума пика смещается от 205 до 213 К для $x = 0.026$ и 0.055 соответственно. Расчет энергии ионизации показал, что ее величина при этом изменяется от $\Delta E = 0,35$ до 0.42 эВ , а сечение ионизации практически постоянно и равно $\sigma = 2 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$.

Таким образом, упругие напряжения в твердых растворах $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ приводят к увеличению энергии ионизации радиационных дефектов при увеличении концентрации неосновного компонента.

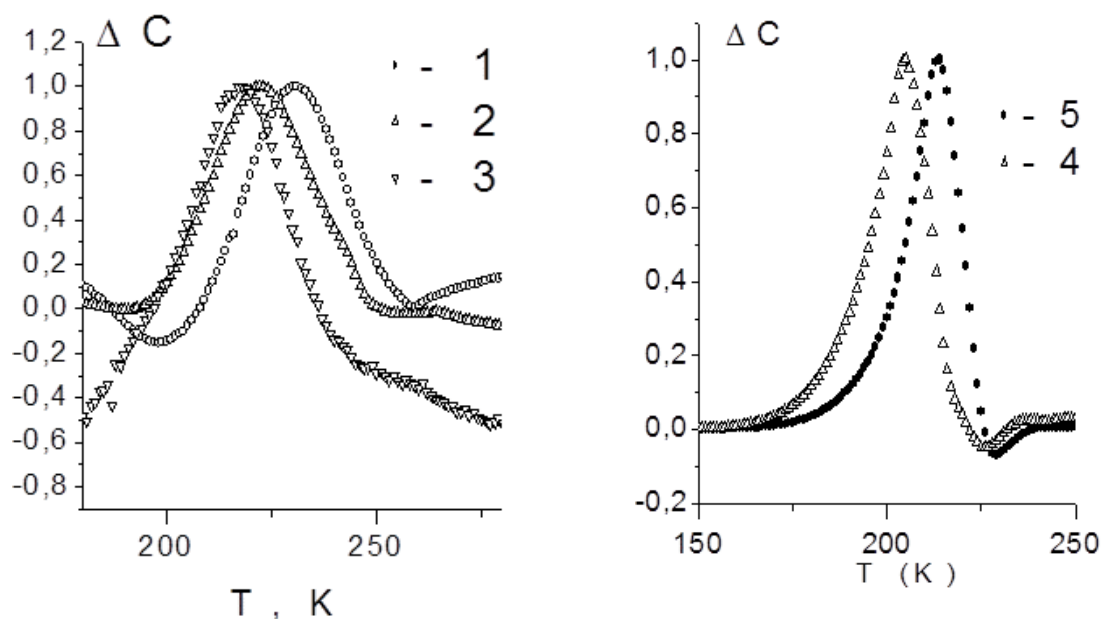


Рисунок 1 – Спектры НЕСГУ для $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ с различным содержанием кремния, x : 1 – 0,97, 2 – 0,99, 3 – 1, 4 – 0,026, 5 – 0,055.

Литература

1. Болховитянов Ю.Б., Пчеляков О.П., Чикичев С.И. // УФН – 2001. – Т. 171. – № 3. – С. 689.
2. Берман Л.С., Лебедев А.А. Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках. – Ленинград : Наука. 1981. – 175 с.
3. Абдулин Х.А., Горелкинский Ю.В., Мукашев Б.Н., Токмолдин С.Ж. // ФТП. – 2002. – Т. 36. – № 3. – С. 257.

А.В. Станчик¹, Ю.С. Яковенко², С.А. Башкиров¹

(¹ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Минск;

²УО «БГПУ им. М.Танка, Минск)

Науч. рук. **В.Ф. Гременок**, д-р физ.-мат. наук, доцент

И.С. Ташлыков, д-р физ.-мат. наук, профессор

АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ ПРЕКУРСОРОВ Cu-Zn-Sn ДЛЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Введение. Классическим материалом для фотоэлектрических солнечных преобразователей (ФСП) является кремний, однако производство солнечных элементов (СЭ) на их основе – процесс технологически сложный и дорогостоящий [1]. Поэтому в последнее время все больше внимания уделялось таким тонкопленочным материалам, как CdTe и $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{S,Se})_2$ [2–4]. Данные материалы содержат токсичные

составляющие (кадмий, теллур) и редкие элементы (индий, галлий), что приводит к невозможности широкого использования и удорожанию СЭ на их основе.

Альтернативой существующим материалам, используемым в ФСП, является полупроводниковый материал $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ (CZTSe). Оптические и электрические свойства CZTSe, а также широкодоступные нетоксичные составляющие (медь, цинк, олово, селен) позволяют им стать перспективным поглощающим слоем в тонкопленочных СЭ [5].

На сегодняшний день в большинстве работ по CZTSe широко применяются двухстадийные процессы для их получения [5]. На первом этапе производится формирование на подложке прекурсоров Cu-Zn-Sn, на втором – производится селенизация.

В настоящей работе приведены результаты исследования методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) структуры подложек Мо/стекло и впервые представлены результаты исследования морфологии металлических электроосажденных прекурсоров Cu-Zn-Sn.

Эксперимент. Металлические прекурсоры Cu-Zn-Sn были получены методом электрохимического осаждения на подложку Мо/стекло из электролитов соответствующего состава. Данные о шероховатости и форме поверхности подложек Мо/стекло и прекурсоров Cu-Zn-Sn были получены с помощью атомно-силового микроскопа NT 206 (Microtest-machines Co., Belarus) в контактном режиме с соответствующим компьютерным обеспечением. Для оценки значений шероховатости образцов были выбраны площадки размером 10×10 мкм².

Результаты и обсуждение. Типичные двух- и трехмерные АСМ-изображения поверхности подложек Мо/стекло и пленок металлических прекурсоров Cu-Zn-Sn представлены на рисунке 1.

АСМ исследование показало, что морфология подложек Мо/стекло характеризуется совокупностью наноигл, ориентированных перпендикулярно к плоскости подложки (рисунок 1*a,b*). Средний размер диаметра оснований наноигл составляет 0.13–0.5 мкм. Максимальная высота рельефа поверхности, определяемая как разность высот между самой высокой и самой низкой точками поверхности, составляет 45.5 нм. Значения средней и среднеквадратичной шероховатости поверхности подложки Мо/стекло составляют 4.1 и 5.2 нм соответственно.

Из представленных АСМ-изображений прекурсоров Cu-Zn-Sn, хорошо видно, что пленки плотно без трещин покрывают подложку и характеризуются развитой поверхностью при наличии царапин, оставшихся после очистки пленки от гидроксидного слоя. Для высокой же эффективности фотоэлектрических устройств на основе тонкопленочных материалов необходимо производить такие плотные пленки. Отличительной особенностью представленного снимка поверхности прекурсора (рисунок 1*d*)

является наличие небольшого числа лидирующих выступов, активно поглощающих ближайших соседей в процессе роста. Также на поверхности пленок наблюдаются нанометровые пустоты (поры), появление которых обусловлено выделением водорода в процессе восстановления металла из электролита.

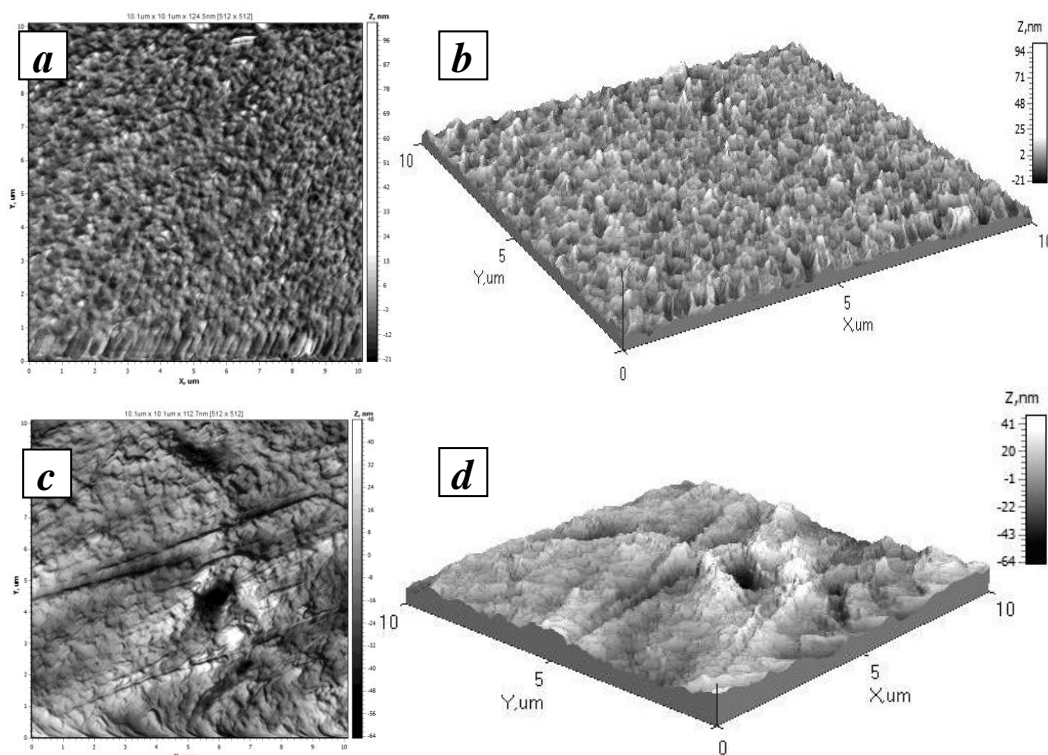


Рисунок 1 – 2D и 3D АСМ-изображения подложек Мо/стекло (a, b) и прекурсоров Cu-Zn-Sn (c, d)

Максимальная высота рельефа поверхности прекурсоров Cu-Zn-Sn составляет 82.2–220.1 нм. Значения средней и среднеквадратичной шероховатости поверхности прекурсоров составляют 8.5–20.5 нм и 11.0–27.3 нм соответственно.

Заключение. Исследование поверхности подложки и прекурсоров с помощью атомно-силовой микроскопии позволило обнаружить их структурирование. Подложка Мо/стекло имеет нанообразования в виде наногл, а поверхность прекурсоров – плотная с небольшим числом лидирующих выступов. Осаждение пленки на подложку привело к увеличению средней и среднеквадратичной шероховатости поверхности по сравнению с подложкой от 4.1 до 8.5–20.5 нм и от 5.2 до 11.0–27.3 нм соответственно, а также к увеличению значения высоты рельефа от 45.5 до 82.2–220.1 нм.

Выявленные особенности поверхностей подложек и прекурсоров необходимо учитывать при формировании *p-n*-переходов и гетеропереходов,

так как шероховатость поверхности является одним из важнейших факторов, определяющих адгезию и контактные электрические характеристики интерфейса слоев.

Литература

1. Russia and Ukraine PV market report [Electronic resource]. – Clean-dex, 2011.
2. Green, M.A. Estimates of Te and In prices from direct mining of known ores / M.A. Green // Prog. Photovoltaics Res. Appl. – 2006. – V. 14. – P. 383–392.
3. Clean Technology Solar. Deutsche Bank Markets Research [Electronic resource]. – FIIT Research, 2015.
4. Fthenakis, V.M. Moskowitz, P.D. Toxic Materials Released from Photovoltaic Modules During Fires: Health Risks / V.M. Fthenakis, P.D. Moskowitz // Prog. Photovoltaics Res. Appl. – 1995. – V. 3. – P. 295–306.
5. Paranthaman, M.P. Semiconductor Materials for Solar Photovoltaic Cells / M.P. Paranthaman, W. Wong-Ng, R.N. Bhattacharya. – Springer International Publishing, Switzerland, 2016. – V. 218. P. 25.

Сун Симен (УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)
Науч. рук. **Д.Г. Пилипцов**, канд. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛУЧЕВОЙ ПРОЧНОСТИ ТОНКИХ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ

Введение. Тонкие покрытия на основе аморфного углерода представляют собой материал, оптические, электрические и механические свойства которого можно варьировать в широких пределах в процессе их синтеза, осаждения, что открывает большие возможности применения таких покрытий в различных устройствах, включая оптические. Сочетание прозрачности в ИК области спектра с механической прочностью, химической стойкостью и инертностью аморфных углеродных (алмазоподобных) покрытий (АПП) с показателем преломления близким алмазу позволяет использовать их в оптических элементах лазеров, инфракрасной технике и других оптических устройствах в качестве защитных и просветляющих покрытий оптических элементов [1, 2].

АПП, поглощающие в видимой области спектра, находят широкое применение для оптической развязки между записывающим и считывающим оптическим излучением в жидкокристаллических модуляторах света отражательного типа.

Об интересе к исследованиям материалов на основе алмазоподобного углерода свидетельствует огромное количество европейских и международных конференций по этой тематике. В связи с этим, исследования оптических, механических и других характеристик АПП являются актуальной задачей.

Методика получения и исследования оптических свойств. Для получения углеродных покрытий использовали модернизированную установку вакуумного напыления УВНИПА-1-001, содержащую:

1. газовый ионный источник типа «АИДА», с помощью которого производится очистка и нагрев подложек;

2. источник плазмы импульсного катодно-дугового разряда с катодом из графита, используемого для нанесения углеродных покрытий.

В качестве подложек использовались полированная пластина монокристалла кремния, вырезанная параллельно кристаллографической плоскости (111) и кварца марки КУ. Управление толщиной напыляемого покрытия производится посредством регулировки времени процесса и скорости напыления.

Толщина покрытия контролировалась путем регистрации времени и скорости напыления, а также с помощью профилометра Ambios Technology XP-2. Толщина исследуемых слоёв не превышала 1 мкм. Сравнительному анализу подвергались покрытия с одинаковым значением эффективной толщины. Структуру связей в покрытии исследовали методом спектроскопии комбинационного рассеивания (Senterra, Bruker). Регистрация оптического спектра пропускания покрытий в УФ, видимой и ближней ИК области проводилась с использованием спектрофотометра Cary-50 (Varian). Оптическая ширина запрещенной зоны (E_g) АПП определялась при $\alpha = 0$ в результате экстраполяции линейной части кривой зависимости $(\alpha h\nu)^{1/2}$ от частоты излучения в соответствии с соотношением Тауца. В виду отсутствия универсального метода определения лазерной лучевой прочности и соответствующего ГОСТ, нами проводились исследования лучевой прочности по методике с использованием импульсного лазера на Nd:YAG ($\lambda = 1,06$ мкм, длительность импульса $\tau = 6 \cdot 10^{-9}$ с), работающим в режиме модулированной добротности.

Из результатов анализа КР спектров следует, что увеличение доли атомов углерода sp^2 -гибридизации, уменьшение размера и степени разупорядочения Csp^2 -кластеров при увеличении частоты импульсов влияют на оптические свойства АПП. Тем не менее, в диапазоне частот импульсов 10...20 Гц полученные значения E_g не изменяются, что является признаком сложного совместного, взаимно компенсирующего влияния указанных факторов на E_g для покрытий, формируемых при разной частоте импульсов.

Исследования оптических свойств АПП, сформированных катодно-дуговым методом показали, что данный метод синтеза АПП позволяет получить покрытия со светопропусканием 50–70 % при толщине до 1 мкм в ИК и 70–80 % при толщине до 200 нм в видимой областях спектра. Такие покрытия, как свидетельствуют приведенные исследования, могут найти широкое применение в качестве защитных и оптических покрытий различных деталей оптического назначения. Высокая лучевая прочность данных покрытий до 10^8 Вт/см², открывает возможность широкого их использования лазерной технике и интегральной оптике.

Повторяемость экспериментальных результатов позволяет сделать вывод о том, что в области практического применения композиционных углеродных алмазоподобных покрытий удалось сформировать слои для создания многослойных интерференционных покрытий функционального назначения. Учитывая уникальные свойства алмазоподобных покрытий, представляется возможным значительно улучшить качество многослойных интерференционных покрытий при создании оптических элементов различного научно-технического назначения.

Литература

1. Erdemir, A. Superlubricity / A. Erdemir, J.R. Martin. – Amsterdam: Elsevier Science, 2007. – 512 p.
2. Robertson, J. Diamond-like amorphous carbon / J. Robertson // Material Science and Engineering. – 2002. – Vol. R, № 37. – P. 129 – 281.

Н.А. Таболич (УО «БГУ», Минск)
Науч. рук. **М.М. Асимов**, д-р физ.-мат. наук

ОПТО-АКУСТИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОКСИГЕНАЦИИ БИОТКАНИ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ОНКОЛОГИИ

В работе представлены результаты экспериментального исследования эффективности оксигенации тканей при совместном действии оптического излучения и акустических волн. Обсуждаются практическое применение новой оптической и акустической технологии в современной медицине, в частности, дерматологии и онкологии.

Применение развиваемого метода может существенно повысить эффективность терапии твердых раковых опухолей, с помощью фотодинамической, радиотерапии и химиотерапии. Существенно, что предложенная технология позволяет значительно снизить неизбежное негативное влияние терапевтических методов на нормальные клетки, окружающие раковую опухоль.

Для проведения исследований создан макетный образец прибора для оксигенации биоткани за счет сочетанного лазерно-акустического воздействия. Комбинированное воздействие лазерного излучения и акустических волн позволяет повысить локальную концентрацию кислорода в биоткани. Механизм действия данного эффекта можно разбить на несколько этапов: а) при воздействии лазерного излучения происходит фотодиссоциация оксигемоглобина (HbO_2) в кожных кровеносных сосудах, что сопровождается дополнительным освобождением молекулярного кислорода (O_2). Освобожденный кислород проникает в ткани в результате процесса диффузии и восстанавливает нормальный клеточный метаболизм в зонах гипоксии; б) воздействие на ткань ультразвуковых колебаний позволяет существенно увеличивать коэффициент диффузии и повысить эффективность оксигенации.

Лазерно-акустический метод повышения концентрации кислорода в тканях может быть полезен в таких областях, как онкология, травматология и спортивная медицина.

В медицинской практике особое место занимает контроль процесса газообмена между организмом и окружающей средой. Транспорт кислорода осуществляется гемоглобином путем микроциркуляции крови по кровеносным сосудам и капиллярам. Снижение объемного кровотока в биоткани (ишемия), или пониженное содержание кислорода в артериальной крови (гипоксемия) приводят к дефициту кислорода в ткани - гипоксии. Кислород является ключевым элементом в метаболизме клеток и его транспорт осуществляется гемоглобином (Hb) от легких ко всем тканям.

Аэробный метаболизм клеток является первичным в механизме обеспечения тканей энергией. Дефицит кислорода в ткани влияет на эффективность метаболизма клеток и затрудняет медикаментозное лечение язв, ран и ожогов. Восстановление концентрации кислорода до уровня, адекватного нормальному метаболизму клеток становится критичным и обычно достигается путем дополнительной оксигенации биоткани кислородом.

В клинической практике, для устранения нехватки кислорода в тканях используются различные методы, в частности, метод принудительной вентиляции легких чистым O_2 при атмосферном давлении. Эффективность насыщения тканей кислородом была существенным образом повышена с использованием технологии гипербарической оксигенации (ГБО), основанной на воздействии чистым кислородом, в специальной камере, при избыточном давлении O_2 над атмосферным [1]. В методе ГБО для устранения гипоксии приходится подвергать избыточному воздействию O_2 весь организм, что вызывает интоксикацию чистым кислородом.

Другим подходом к решению этой актуальной задачи стала разработка и использование искусственных носителей кислорода на основе перфторорганических соединений [2], которые не отвечают требованиям современной медицины и не нашли широкого применения.

Гипоксия имеет локальную природу, и поиск новых методов ее устранения представляет актуальную задачу во многих областях медицины, и особенно в современной онкологии, где эффективность терапевтических методов прямо зависит от концентрации O_2 в ткани раковой опухоли [3].

В настоящее время проводится интенсивный поиск эффективных методов повышения локальной концентрации кислорода в биоткани в ведущих научных центрах России, Европы и США. Общим подходом в решении проблемы устранения гипоксии является локальное повышение концентрации O_2 в ткани путем его диффузии извне через кожный покров [4–6].

В данной работе показано, что фотодиссоциация оксигемоглобина крови *in vivo* позволяет устранить тканевую гипоксию и стимулировать аэробный метаболизм клеток. Предложен и разработан лазерно-оптический метод повышения степени локальной оксигенации биоткани путем дополнительной экстракции O_2 из HbO_2 крови непосредственно в зоне воздействия лазерным излучением. Рассмотрены различные аспекты применения новой лазерно-оптической технологии в клинической практике, где устранение гипоксии является критичным.

Экспериментальные исследования предложенного метода проводились с использованием стандартного прибора для измерения степени оксигенации биоткани «Po Monitor TM 300T» производства компании «Humares GmbH» (Германия).

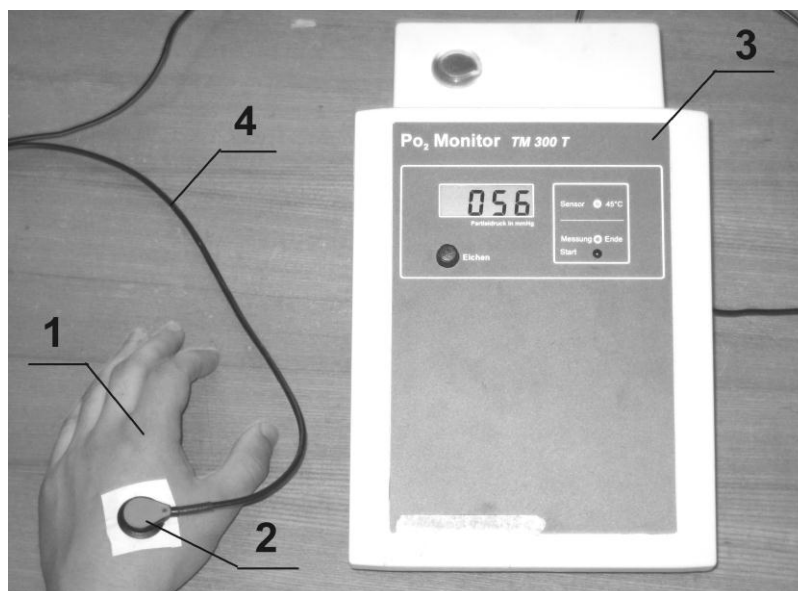
Данное устройство сертифицировано «Институтом Сертификации и Тестирования EUROCAT/BSI GmbH» (CE 0535) и классифицируется в соответствии с Директивой ЕС о медицинской продукции 93/42 / ЕЕС в качестве устройства II класса.

Регистрируемые прибором значения отражают уровень снабжения кислородом клеток кожной ткани в реальном масштабе времени.

Мониторинг осуществлялся с помощью электрода Кларка, установленного на кожный покров (рисунок 1).

Электрод Кларка (2) состоит из серебряного анода, электролита, кислород проницаемой мембраны, нагревательной секции и электронной системы для измерения и регулирования температуры сенсора. Электрод устанавливался на кожу посредством специальной контактной жидкости.

Измеряемое прибором значение $TcPO_2$ – величина парциального давления кислорода в биоткани выводился на экран в мм.рт.ст.



1 – Рука измеряемого; 2 – Сенсор-лектрод Кларка;
3 – Po_2 Monitor TM 300T; 4 – Сигнальный провод датчика

Рисунок 1 – Измерение парциального давления кислорода
в кожной ткани

С помощью данного устройства контролировался уровень снабжения кислородом клеток кожи перед воздействием и во время воздействия ультразвуковыми колебаниями и лазерным излучением различной мощности и длины волны (рис. 2).

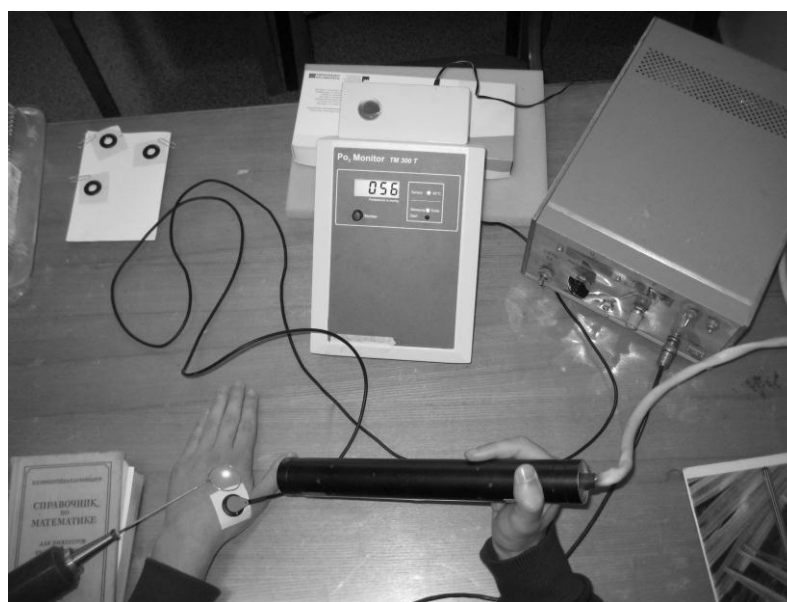


Рисунок 2 – Мониторинг изменения парциального давления кислорода
в кожной ткани во время воздействия ультразвуковыми колебаниями
и лазерным излучением

Так, при воздействии лазерного излучения на кровеносные сосуды происходит фотодиссоциация HbO_2 , и освобожденный молекулярный кислород проникает в ткани благодаря процессу диффузии. Прибор регистрирует изменение величины парциального давления кислорода в ткани – TcPO_2 при помощи электрода Кларка, установленного на кожный покров.

Результаты экспериментальных исследований показывают, что лазерно-индуцированная фотодиссоциация оксигемоглобина крови позволяет повысить локальную концентрацию кислорода в биоткани.

Установлено, что эффективность предложенного оптического метода оксигенации биоткани оказывается сравнимой с методом гипербарической оксигенации, но отличается преимуществом в локальности воздействия.

Показано, что комбинированное воздействие лазерного излучения и акустических волн позволяет существенно повысить локальную концентрацию кислорода в биоткани.

Механизм достижения данного эффекта можно разбить на несколько этапов:

- при воздействии лазерного излучения происходит фотодиссоциация оксигемоглобина (hbo_2) в кожных кровеносных сосудах;

- лазерно-индуцированная фотодиссоциация оксигемоглобина позволяет экстрагировать дополнительное количество свободного молекулярного кислорода в биоткань;

- освобожденный кислород проникает в ткани в результате диффузии и восстанавливает нормальный клеточный метаболизм при гипоксии;

- воздействие на ткань ультразвуковых колебаний позволяет существенно увеличивать коэффициент диффузии;

- устранение дефицита кислорода в ткани раковой опухоли при проведении сеансов фотодинамической терапии, химиотерапии - и радиотерапии;

- локальное устранение тканевой гипоксии для сокращения времени заживления ран, порезов, ожогов и других областей, где в результате повреждения локальной сети кровеносных сосудов.

Лазерно-акустический метод повышения концентрации кислорода в тканях может быть полезен в таких областях, как онкология, травматология и спортивная медицина.

Литература

1. Grim, P.S. Hyperbaric Oxygen Therapy / P.S. Grim //JAMA. – 1990 – Vol.263. – P. 2216–2220.

2. Иваницкий Г.Р. //Перфторорганические соединения в биологии и медицине. Пушино. 2001. С. 4.
3. Martin D.F, et al. Enhancement of Tumor Radiation Response by the Combination of a Perfluorochemical Emulsion and Hyperbaric Oxygen // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. – 1987 – Vol.13. – P.747–751.
4. Teicher B.A., and Rose C. M. Perfluorochemical Emulsion Can Increase Tumor Radiosensitivity // Science – 1984 – Vol.223. – P. 934–936.
5. Vaupel P. Oxygenation of Human Tumors //Strahlenther, Onkol. – 1990. – Vol.166. – P. 377–386.
6. Ladin. D., Oxygen generating wound dressing. U.S. Pat., No. 5,792,090. 1998.
7. Scherson D.A. «Oxygen producing bandage», U.S. Pat., No. 5,855,570, 1999.
8. Saffran, W.A. Photodissociation of Ligands from Hem and Hem Proteins: Effect of Temperature and Organic Phosphate /W.A. Saffran, Q.H. Gibson // J of Biol. Chem. – 1977.– Vol. 252. (22). – P. 7955–7958.
9. Anderson, R.R. The optics of human skin / R.R. Anderson, J.A. Perrish //J. Invest. Dermatol. – 1981. – Vol.77. – P. 13–19.

И.В. Татьянаенко (УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель)
Науч. рук. **А.В. Рогачев**, д-р хим. наук, член-корреспондент НАН Б

ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛЕГИРОВАННЫХ ФТОРОМ

Введение. Исследование в области формирования покрытий на основе алмазоподобного углерода (АПП) привлекают внимание исследователей в течении последних десятилетий. АПП обладают комплексом высоких оптических, электрофизических, механических, биомедицинских и трибологических свойств, которые делают их интересными для науки и коммерчески выгодными для промышленных применений. В зависимости от структуры, концентрации в покрытии примесей других элементов, отличных от углерода, свойства АПП можно изменять в широких пределах. Легирование металлами позволяет сочетать в себе свойства характерные для металлов (упругость и пластичность), легирование азотом перспективно для синтеза нитрид-углеродных соединений обладающих большей твердостью чем алмаз. Достаточно перспективным является легирование фтором АПП. АПП, содержащие в своем составе фтор, характеризуются химической инертностью, хорошими гидрофобными свойствами, высокой термостойкостью и низкими значениями износа. Актуальной задачей является исследование свойств АПП содержащих в своем составе слои

на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ). Данный полимер характеризуется хорошими механическими и инертными свойствами, содержит в своем составе достаточное количество фтора. В данной работе сделана попытка получить покрытия, сочетающие в себе свойства характерные для ПТФЭ (низкая поверхностная энергия, высокая гидрофобность) и механические свойства характерные для АПП.

Методика получения и исследования. Для получения полимер/углеродных покрытий со структурой АПП/ПТФЭ/АПП использовали модернизированную установку вакуумного напыления УВНИПА-1-001, содержащую:

1 газовый ионный источник типа «АИДА», с помощью которого производится очистка и нагрев подложек;

2 источник плазмы импульсного катодно-дугового разряда с катодом из графита, используемого для нанесения углеродных покрытий.

3 электронно-лучевой испаритель, предназначенный для формирования слоя из полимера. В качестве материала для формирования полимерного слоя использовали фторопласт ГОСТ 10007-80 Фторопласт-4.

В качестве подложек использовались полированная пластина монокристалла кремния марки КДБ.

Толщина покрытия контролировалась путем регистрации времени и скорости напыления. Толщина покрытий не превышала 1 мкм. Сравнительному анализу подвергались покрытия с одинаковым значением эффективной толщины. Структуру связей в покрытии исследовали методом спектроскопии комбинационного рассеивания (Senterra, Bruker). Структуру поверхности исследовали методами атомно-силовой микроскопии (АСМ) в режиме топографии и фазового контраста, область сканирования составляла 5X5 мкм. Поверхностную энергию определяли методом покоящейся капли с использованием двух жидкостей разного типа. Оптические свойства определяли методом лазерной эллипсометрии. Для управления структурой покрытия и активизации химического взаимодействия был сделан отжиг при различных температурах (100°C и 300°C) на воздухе в течении часа.

Из результатов анализа КР спектров следует, что у покрытий типа АПП/ПТФЭ/АПП после отжига при 100°C наблюдается уменьшение отношения I_D/I_G и происходит смещение положения пика D в сторону более низких волновых чисел, по отношению к чистым АПП, а при отжиге на 300°C происходит рост отношения I_D/I_G и происходит смещение положения D пика в область низких волновых чисел. Данное поведение параметров КР спектров определяется уменьшением размеров и степени разупорядоченности Csp^3 кластеров после отжига при 100°C. После отжига при 300°C покрытие характеризуется ростом и снижением порядка Csp^3 кластеров.

Из анализа данных АСМ установлено, что у покрытий типа АПП/ПТФЭ/АПП после отжига при 100°С наблюдается уменьшение значений R_{MS} и Ra в 2.6 раза, а при отжиге на 300°С наблюдается обратный рост в 2.4 раза.

Установлено, что у покрытий типа АПП/ПТФЭ/АПП после отжига наблюдается увеличение угла смачиваемости на 5° после отжига при 100 °С и на 41° после отжига при 300°С, что говорит об увеличении гидрофобных свойств.

Повторяемость экспериментальных результатов позволяет сделать вывод о том, легирование фтором АПП влияет на формирование структуры углеродной матрицы, приводит к изменению рельефа поверхности на наноуровне, что положительно сказывается на гидрофобных свойствах покрытий.

Литература

1. Grill A. Tribology of diamond-like carbon and related materials: an updated review // Surface and Coatings Technology. – Elsevier Science, 1997. – Vol. 95. – P. 507–513.

2. Рогачев, А.В. Триботехнические свойства композиционных покрытий, осаждаемых вакуумно-плазменными методами / А.В. Рогачев// Трение и износ. – 2008. – Т. 29, № 3. – С. 285–592.

3. Mechanical properties and performance of magnetron-sputtered graded diamond-like carbon films with and without metal additions / С. Bauer [et al.] // 4. Diamond and Related Materials. – 2002. – Vol. 11. – P. 1139–1142.

Mechanical and tribological properties of CN_x films deposited by reactive magnetron sputtering / E. Broitman [et al.] // Wear. – 2001. – Vol. 248. – P. 55–64.

Д.В. Тит (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)

Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

СОСТАВЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КЛАПАНОВ ЗАБОРНОГО ВОЗДУХА ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Большая часть современного промышленного производства тесно связана с вентиляционным оборудованием, от его работы зависит качество выпускаемой продукции и состояние здоровья обслуживающего персонала. Для надежной и долговечной работы вентиляционного оборудования его узлы и детали должны изготавливаться из таких материалов, которые должны сопротивляться воздействию агрессивных сред при переменных режимах работы оборудования, иметь высокую коррозионную стойкость и влияние высоких знакопеременных механических

воздействий. Кроме того, материалы должны иметь низкую стоимостью и быть не дефицитными. При достижении технического износа для материалов должна быть обеспечена простая утилизация.

Традиционно вентиляционные шахты и клапаны заборного воздуха со всеми их элементами изготавливаются из тонколистовой стали в соответствии с требованиями по пожарной безопасности. Однако одной из проблем, возникающей при эксплуатации вентиляционного оборудования, является проблема заклинивания металлических шторок заборного клапана за счет конденсирования и кристаллизации влаги. Это приводит к нарушению функционирования системы вентиляционного оборудования, нарушению условий формирования микроклимата на производстве и изменению качественных показателей для производимой продукции.

Цель исследования заключается в разработке составов композиционного материала для изготовления шторок заборного клапана, обладающего пониженными показателями теплопроводности для уменьшения вероятности конденсатообразования, приводящего к обмораживанию систем кондиционирования при эксплуатации в условиях воздействия отрицательных температур [1].

На базе предприятия химической отрасли ОАО «Гродно Азот» ПО «Гродно Химволокно», производящего синтетические волокна и перерабатывающего их в продукцию, проведен анализ условий работы вентиляционного оборудования. Изучены причины возникновения дефектов оборудования, среди которых возникновение коррозионных поражений, налипание мелкодисперсных частиц, обледенение конструкций, механический износ абразивного характера и др.

Системы кондиционирования воздуха традиционно представлены секционными кондиционерами, включающими в себя следующие функционально-технологические блоки: фильтра, воздушные клапаны, камеру увлажнения, воздухоохладители, воздухонагреватели, теплообменники, шумоглушителя и вентиляторы и др.



Рисунок 1 – Характерный внешний вид воздушного клапана заборного воздуха

Для борьбы с возникновением проблемы обледенения воздушных клапанов (рисунок 1) предложено оптимизировать конструкцию клапана путем выбора и испытания материалов для изготовления элемента «Шторка клапана» взамен алюминиевых сплавов.

Предлагаемым решением видится использование составов на основе полимерных материалов, способных предупредить развитие вышеперечисленных негативных явлений. В качестве материала выступает стеклонаполненный полиамид марки ПА6 экструзионной марки.

Из предложенного композиционного материала были изготовлены образцы для лабораторных исследований. Проведены испытания по определению предела прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве, на ударную вязкость, по определению показателя реологических параметров, по оценке твердости, показателю теплопроводности на стойкость к водопоглощению. Из материала шторок клапана (алюминиевого сплава) были изготовлены образцы для определения таких же показателей. Сравнительный анализ исследований двух материалов показал, что по рассматриваемым характеристикам шторки заборного клапана из полимерного материала на основе ПА-6 могут полностью заменить дорогостоящие изделия из алюминиевых сплавов в данной конструкции (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов из ПА-6

Наименование показателя		Значения
Предел прочности при растяжении, МПа, не менее		65
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее		30
Изгибающее напряжение при прогибе 1,5 толщины образца, МПа, не менее		70
Ударная вязкость по Шарпи на образцах без надреза, кДж/м ² , при температуре не менее	Минус 40°С	Не разрушается
	Минус 60°С	
Температура плавления, °С		216–218
Модуль упругости при изгибе, МПа		1400–1600
Водопоглощение, %,	За 24 ч в холодной воде	1,3–1,5
	За 30 мин при кипении	1,6–1,8

Несмотря на то, что у композиционного материала предел прочности при растяжении ниже практически в 3,5 раза, чем у алюминиевого, в эксплуатируемом оборудовании полученные показатели могут обеспечить надежную работоспособность. Незначительное образование конденсата указывает на то, что теплопроводность композиционного материала (0,28 Вт/(м*К)) значительно ниже теплопроводности алюминия (202–236 Вт/(м*К))[3].

Экономические расчеты показали, что экономия от использования композиционного материала на основе ПА-6 составит более 19 млн. бел. рублей на одной тонне используемых материалов.

Выводы. Потенциальные выгоды от использования композиционных материалов на основе ПА-6 при изготовлении элементов клапанов заборного воздуха вентиляционного оборудования заключаются в увеличении надежности и долговечности оборудования, снижается вероятность обмораживания элементов системы. Предлагаемое решение наряду с техническими критериями с экономической точки зрения является более целесообразным.

Литература

1. Национальный Интернет – портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Официальный сайт ОАО «Гродно Азот» филиал «Завод Химволокно» – Режим доступа: <http://www.grodno-khim.by/manufacturing/technology/>. – Дата доступа: 07.02.2016.

2. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме: ГОСТ 7076-99 – Введ. 01.04.2000 – М.: ГУП ЦПП, 2000. – 23 с.

3. Алюминий: свойства и физическое металловедение: Справ, изд. Пер. с англ. /Под ред. Хэтча Дж. Е. – М.: Металлургия. – 1989. – 422 с.

Ходор Баззал, Хунчжи Цинь (УО «БГУ», Минск)

Науч. рук. **А.П. Зажогин**, д-р физ.-мат. наук, профессор

ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ В ПЛАЗМЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАСФОКУСИРОВАННЫХ СДВОЕННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ Д16Т В АТМОСФЕРЕ ВОЗДУХА

В настоящее время одним из материалов, перспективных и применяемых в микроэлектронике и оптоэлектронике в качестве диэлектрических теплоотводящих подложек, является нитрид алюминия (AlN) и керамические материалы на его основе. Нитриды металлов обладают необычным сочетанием свойств: AlN имеет высокую теплопроводность, сравнимую с теплопроводностью меди и серебра (до $260 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\text{К}^{-1}$) при высоких значениях электрического сопротивления (до $10^{14} \text{ Ом}\cdot\text{см}$) и т. д. [1].

До сих пор во многих технологиях азот используется в качестве инертного газа. Наиболее разработанными и изученными методами активации молекулы азота являются нагревание, ионизирующее излучение, действие катализаторов, электроразряд, а также сочетание этих

методов. При тепловой активации молекулярного азота — нагревании до 3000 °С, степень диссоциации достигает 0,1 %. Другие методы активации являются неэффективными — КПД процесса не превышает 1–2 %. Таким образом, все это обуславливает поиск специальных условий реакции N₂ или активированного азотного комплекса с металлами и представляет большой практический интерес [1]. В настоящее время для получения AlN в виде порошков или в составе тонких пленок и покрытий начинают применять методы лазерного воздействия на Al в атмосфере активированного азота под давлением [2].

Цель работы состояла в том, чтобы показать возможность и определить условия для получения методом абляции сериями сдвоенных лазерных импульсов алюминиевых мишеней в воздушной атмосфере нанокластеров AlN для использования в технологиях получения нанокристаллов и напыления тонких пленок..

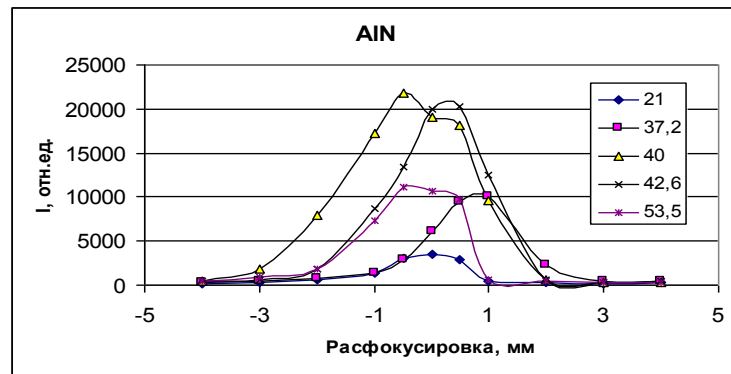
Для проведения исследований использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1 (изготовитель СП «ЛОТИС ТИИ»). В качестве источника возбуждения плазмы в спектрометре используется двухимпульсный неодимовый лазер с регулируемой энергией и интервалом между импульсами (модель LS2131 DM). Лазер может работать с частотой повторения импульсов до 10 Гц на длине волны 1064 нм. Длительность импульсов ≈ 15 нс. Временной сдвиг между сдвоенными импульсами может изменяться от 0 до 100 мкс с шагом 1 мкс. Динамика образования одного из продуктов взаимодействия атомов алюминия с азотом радикала AlN изучена нами по эмиссионным спектрам этой молекулы при воздействии серии одиночных и сдвоенных лазерных импульсов на алюминиевую мишень в атмосфере воздуха. Наиболее интенсивными электронно-колебательными полосами в эмиссионных спектрах являются полосы с длинами волн 508,05 и 512,3 нм.

При проведении экспериментальных исследований установлено, что наибольшая интенсивность полос наблюдается для интервала между импульсами 6-12 мкс. С использованием интервала 8 мкс нами проведено исследование процесса образования нанокластеров AlN от энергии импульсов в зависимости от расфокусировки их. Данные проведенных исследований приведены на рисунке 1.

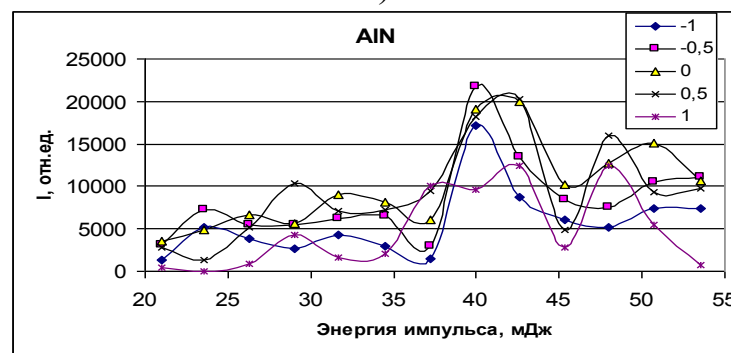
Как видно из полученных данных процесс образования нанокластеров AlN с увеличением энергии до 40 мДж увеличивается, а затем несколько уменьшается, в то же время зависимость от расфокусировки (плотности мощности) неоднозначна.

С использованием интервала 10 мкс и энергии 40 мДж нами проведено исследование процесса образования AlN в зависимости от номера

воздействующего на мишень импульса. Результаты проведенных исследований приведены на рисунке 2.



а)



б)

а – энергия, мДж; б – величина расфокусировки, мм

Рисунок 1 – Зависимость интенсивность полос AIN (512,3 нм), в спектрах от расфокусировки и энергии импульсов.

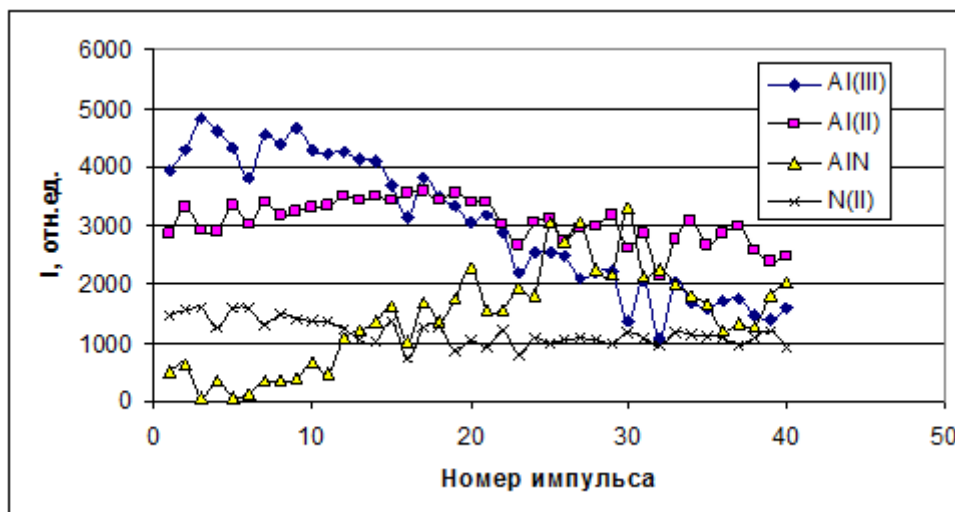


Рисунок 2 – зависимость интенсивности линий Al II (466,3 нм), Al III (452,92 нм), AIN и N II в спектрах от номера импульса

При сопоставлении рисунков обращает внимание хорошая корреляция между возрастанием интенсивности полосы AlN и существенным уменьшением интенсивности линии Al III (452,92 нм).

Как видно из данных процесс образования нанокластеров AlN существенно увеличивается с увеличением глубины кратера. Наличие на поверхности оксидов алюминия ускоряет начало процесса образования как радикалов AlO, так и AlN. Наличие резкого временного порога скорости образования нанокластеров AlN указывает на то, что причину наблюдаемых явлений необходимо искать в особенностях изменения температурного и химического состава плазмы внутри образующегося достаточно глубокого канала.

В нашем случае при формировании глубоких отверстий сдвоенными импульсами, происходит накопление аблированных микрочастиц и кластеров в атмосфере образующихся полостей. При этом воздействие последующего импульса, следующего через небольшой интервал времени, приводит к низкороговому оптическому пробою воздуха, насыщенного микрочастицами металла, и появлению одновременно двух разнесенных в пространстве плазменных образований. В этом случае, появление плазменно-пылевой области приводит к созданию высокотемпературного плазменного облака высокого давления в пробитом канале. Последний эффект снижает активность кислорода, а активированный азот взаимодействует при высокой температуре в соответствии с его реакционной способностью, что и обуславливает увеличение скорости образования нитридов алюминия по сравнению с одиночными или редко повторяющимися импульсами [2].

Таким образом, выполненные спектроскопические исследования характеристик приповерхностной лазерной плазмы, образуемой вблизи поверхности алюминия, при воздействии на нее последовательных расфокусированных сдвоенных лазерных импульсов на поверхность оксидированного алюминия показали возможность контроля и управления характеристиками плазмы и возможность получения необходимых концентраций и поступления AlN в плазму.

Литература

1. Ильин, А.П. К вопросу о механизме высокотемпературного химического связывания азота воздуха / А.П. Ильин, Л.О. Роот. // Вестник науки Сибири. Серия 3. Химия – 2011. - №1 (1). - С.91-96
2. Tharea, R.K. Formation of AlN in laser ablated plasma of Al in nitrogen ambient / R.K.Tharea, A.K. Sharma // Phys. Stat. Sol. – 2005. – V.2. – № 2. P. 2079–2082.

Ходор Баззал, Хунчжи Цинь (УО «БГУ», Минск)
Науч. рук. **А.П. Зажогин**, д-р физ.-мат. наук, профессор

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСФОКУСИРОВКИ НА ПРОЦЕССЫ ПРОБИВКИ МЕТАЛЛОВ СДВОЕННЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

Роль образующейся лазерной плазмы при импульсной лазерной абляции металлов является определяющей с точки зрения достижения эффективности их обработки. Несмотря на обилие результатов, есть еще и не достаточно освещенные вопросы. Одним из них является вопрос: как влияет расфокусировка сдвоенных лазерных импульсов (высокая частота повторения импульсов) на эффективность формирования отверстий в металлической пластинке.

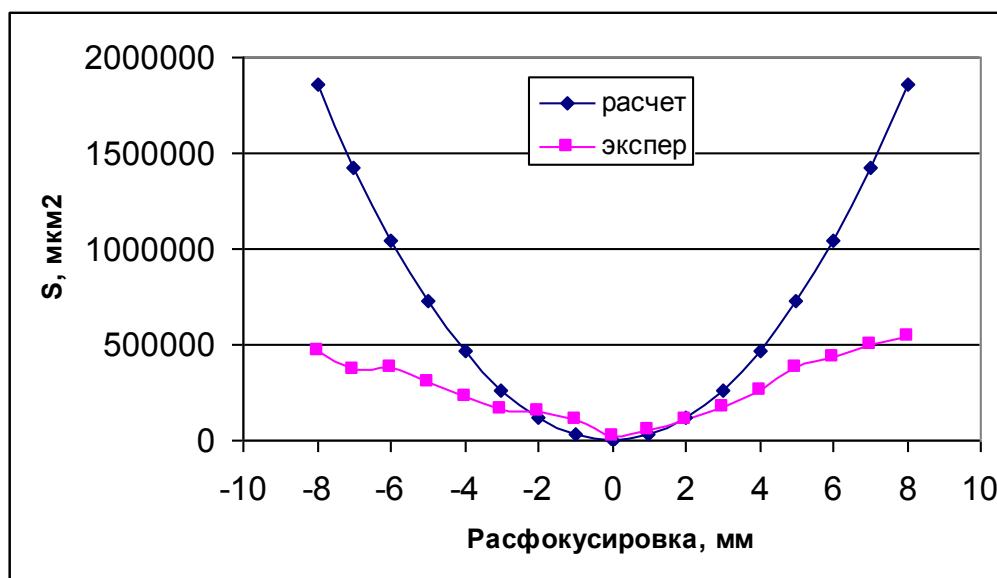
При проведении экспериментов использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1. Лазер может работать с частотой повторения импульсов до 10 Гц на длине волны 1064 нм. Длительность импульсов ≈ 15 нс. Временной сдвиг между сдвоенными импульсами может изменяться от 0 до 100 мкс с шагом 1 мкс. Лазерное излучение фокусировалось на образец с помощью ахроматического конденсора с фокусным расстоянием 104 мм. Размер сфокусированного пятна примерно 50 мкм.

Динамика развития пробоя отверстий исследовалась методом многоканальной атомно-эмиссионной спектрометрии при воздействии одиночных и сдвоенных лазерных импульсов на пластинку из алюминиевого сплава Д16Т (толщина 1 мм) при энергии 50 мДж, временном интервале 10 мкс и расфокусировки ± 8 мм в атмосфере воздуха.

Изменение интенсивности лазерного излучения на поверхности мишени достигалось за счет изменения радиуса лазерного пучка при вариации положения мишени по отношению к конденсору. Плюс соответствует увеличению расстояния, а минус соответственно уменьшению его.

Следует отметить, что удаление вещества с поверхности образца под действием лазерных импульсов наносекундной длительности происходит не только в результате испарения, но и при вытеснении расплава под действием давления паров и ударной волны из зоны облучения. В случае абляции образца сдвоенными лазерными импульсами часть энергии первого импульса поглощается и идет на нагрев поверхности, а излучение второго импульса попадает на уже нагретую поверхность, что увеличивает поглощение излучения и соответственно повышает выход продуктов. Все эти процессы сопровождаются образованием бруствера, окружающего кратер. Исследования показали, что при

больших энергиях импульсов высота бруствера может достигать 1,5–2 толщины испаряемого слоя. В связи с вышесказанным, глубина и поперечные размеры кратера измерялись методом оптической микроскопии, с помощью микроинтерферометра Линника МИИ-4.



а)



б)

а – теоретические и экспериментальные площади кратеров;
б – сравнение площадей

Рисунок 1 – Результаты измерений размеров кратеров

Результаты измерений размеров кратеров (площадей) в экспериментах и теоретических площадей для расфокусированного лазерного пучка представлены на рис. 1а. На рис. 1б представлены результаты сравнения площадей. Качественный анализ этих данных при естественном

предположении о том, что количество выброшенного из кратера вещества связано с эффективностью воздействия лазерного излучения на мишень, приводит к выводу об изменении характера взаимодействия лазерного излучения с плазмой при переходе величины расфокусировки ± 2 мм. Обнаруженный эффект, по видимому, связан с изменением механизма действия лазерного излучения от чисто испарительного на крыльях, к смешанному, механизму испарения и вытеснения расплава под действием ударной волны при малой величине расфокусировки. При воздействии лазерного импульса большой плотности энергии (область расфокусировки меньше 2 мм) генерация ударной волны происходит под действием давления плазмы испаряемой части мишени, длительность которого равна или меньше длительности импульса. Время распространения ударной волны и образования кратера в конденсированной части мишени будет значительно превышать длительность лазерного импульса и может составлять в условиях данного эксперимента десятки и даже сотни наносекунд. В случае действия сдвоенных лазерных импульсов, под действием второго импульса вещество дополнительно будет поступать как в результате абляции, так и за счет выдавливания расплава давлением паров и ударной волны.

Такой механизм сохраняется и для больших энергий импульсов. Об этом хорошо свидетельствуют результаты, приведенные на рисунке 2.

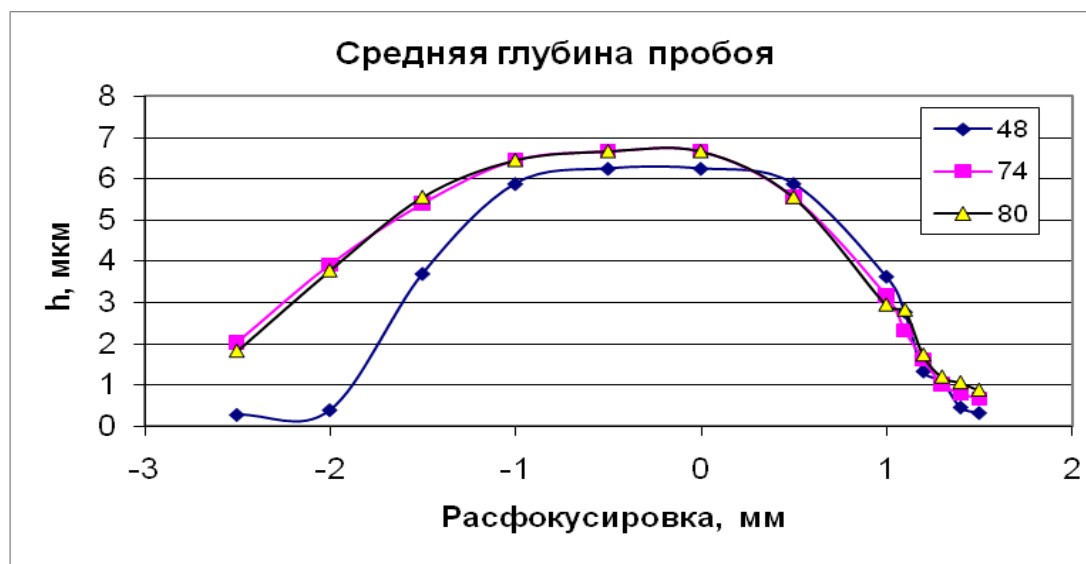


Рисунок 2 – Зависимость изменения глубины кратера h на поверхности от величины расфокусировки для разных энергий (в рамке энергия импульсов в мДж)

Из приведенных результатов хорошо видно, что после расфокусировки на 1–2 мм скорость изменения глубины кратера существенно уменьшается даже для значительно больших энергий импульсов.

Наличие резкого порога скорости абляции указывает на то, что причину наблюдаемых явлений необходимо искать в особенностях плазмообразования внутри образующегося достаточно глубокого канала при формировании отверстий сдвоенными импульсами, что вызывается накоплением аблированных микрочастиц и кластеров в атмосфере образующихся полостей. При этом воздействие последующего импульса, следующего через небольшой интервал времени, приводит к низкопороговому оптическому пробою воздуха, насыщенного микрочастицами металла, и появлению одновременно двух разнесенных в пространстве плазменных образований. Увеличение площади пятна при расфокусировке приводит как к существенному уменьшению плотности энергии на мишени, так и естественно к уменьшению вероятности испарения поверхности и образования ударной волны [1,2].

Литература

1. Григорьянц, А. Г. Основы лазерной обработки материалов / А.Г. Григорьянц. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
2. Реди, Дж. Промышленное применение лазеров / Дж. Реди. – М.: Мир, 1981. – 640 с.

О.А. Шостко (УО «ГрГУ им. Я.Купалы», Гродно)

Науч. рук. **В.Г. Сорокин**, ст. преподаватель кафедры МиРТ

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Рассмотрены принципы формирования структуры полимерных композиционных материалов на основе термопластов для изготовления изделий медицинского назначения. Показано, что перспективными направлениями регулирования параметров деформационно-прочностных, технологических и акустических характеристик композитов является использование энергетических воздействий на поверхностные слои изделий. Показана перспективность использования лазерной обработки для формирования оптимальной морфологии поверхностного слоя полимерного изделия медицинского назначения.

В настоящее время основными требованиями, предъявленными к материалу, из которого изготавливают изделия медицинского назначения, являются биологическая инертность, исключение процессов абсорбции и экструзии. Основными характеристиками, играющими решающую роль в оценке возможности применения полимеров для

изделий медицинского назначения, являются: наличие необходимого комплекса физических, химических и механических свойств; высокая чистота и однородность материала; возможность переработки в изделия без разложения и выделения низкомолекулярных продуктов; отсутствие раздражающего, токсичного, канцерогенного воздействия на живые организмы, как самих полимеров, так и продуктов, присутствующих в материале или образующихся в процессе его хранения и эксплуатации; способность выдерживать стерилизующую обработку различными методами и средствами [1].

Полимерный материал, прежде чем быть разрешённым к применению в медицинской практике Министерством здравоохранения, проходит длительную и всестороннюю проверку. Определяющим и главным свойством такого материала является биологическая безвредность (отсутствие токсичности, канцерогенности, раздражающего действия на контактирующие с ним ткани). Полимерные материалы должны быть биологически совместимыми с контактирующими тканями и индифферентными по отношению к организму в целом. Полимерный материал и лечебные изделия из него не должны вызывать со стороны кожи больного нежелательных реакций (в том числе аллергических). Имплантант также должен обладать химической устойчивостью, не разрушаться или подвергаться минимальному разрушению в среде живого организма с выделением мономеров и других продуктов распада. Недопустимо, чтобы имплантант содержал в своём составе токсичные растворимые компоненты, способные к миграции (проникновению) в тканевую жидкость организма [2].

К числу наиболее распространённых высокоэнергетических технологий, применяемых для целевого модифицирования изделий и полуфабрикатов из полимерных материалов, относятся термические, ионизирующие и лазерные [3]. Анализ показывает, что среди этих технологий наибольшую перспективу для использования в изделиях специального назначения имеет лазерное излучение (ЛИ), обладающее разработанной гаммой оборудования и позволяющее осуществлять обработку больших площадей или локальных участков потоками энергии заданной мощности и продолжительности действия [3]. Вместе с тем, очевидно, что варьированием параметрами энергетического воздействия лазерного излучения можно обеспечивать целевое модифицирование поверхностных слоёв полимерных изделий без разрушения макромолекул и изменения фракционного состава и строения.

Для модифицирования образцов использовали лазерную установку «Квант-15», генерирующую лазерное излучение с длиной волны $\lambda_0 = 1,06$ мкм и длительностью импульса $2,0 \cdot 10^{-6}$ с. Энергия однократного импульса варьировалась от 1,5 до 5 Дж. Напряжение накопителя

600–900 В. для проведения модификации и исследований использовали плёночные полуфабрикаты в состоянии промышленной поставки толщиной от 120 до 200 мкм, полученные методами экструзии с раздувом или экструзии через плоскощелевую головку из полиэтилена высокого давления (ПЭВД) и полипропилена (ПП). Перед обработкой ЛИ плёночные образцы очищали от механических загрязнений путем обработки этиловым спиртом. Так же использовались сами изделия медицинского назначения (эндопротезы цепи слуховых косточек из числа опытной партии, изготовленной в результате выполнения задания ГНТП 16.1).

Структурные изменения в полимерной матрице после воздействия лазерного излучения определяли методом ИК-спектроскопии с помощью ИК-Фурье спектрофотометра Tensor 27. Исследования ИК-спектроскопии показывают изменения структуры исследуемых материалов. В ИК-спектрах облучённых ЛИ образцов ПЭВД появляются новые полосы поглощения в областях $(1200–1600)\text{см}^{-1}$, $(2700–3100)\text{см}^{-1}$. В ИК-спектрах облучённых сфокусированным ЛИ образцов ПП такие изменения наблюдаются в областях $(800–1300)\text{см}^{-1}$, $(2700–3000)\text{см}^{-1}$.

Важным фактором, обеспечивающим высокую эффективность применения полимерных протезов для оссикулопластики, является формирование морфологии поверхностного слоя, близкой к рельефу анатомических элементов звукопроводящей системы среднего уха.

Анализ особенностей поверхностного слоя натуральных слуховых косточек, осуществлённый методом АСМ, свидетельствует о морфологии, характеризующейся сочетанием глобулярных неровностей с латеральным размером 1,0–2,0 мм и высотой от 20 до 76 нм. Подобный рельеф контактных поверхностей, обеспечивает наиболее эффективное взаимодействие всех компонентов слуховой цепи и является физиологически обоснованным. Очевидно, что для того, чтобы протез из полимерного материала при оссикулопластике обеспечивал наилучший функциональный эффект, целесообразно формирование морфологии его поверхностного слоя наиболее близкой к морфологии натуральных слуховых косточек. Практическая реализация этого важного функционального фактора при традиционной технологии изготовления методом литья под давлением невозможна, так как параметры шероховатости поверхностного слоя оформляющих элементов технологической оснастки значительно превышают наноразмерный диапазон. Этот аспект обусловлен техническими требованиями к качеству поверхностного слоя изделий из полимерных материалов, которые определяются их функциональным назначением. Поэтому для регулирования параметров структуры поверхностного слоя полимерных эндопротезов для оссикулопластики в курсовой работе был использован метод направленного энергетического воздействия – лазерное излучение (ЛИ).

Анализ особенностей морфологии поверхностного слоя образцов, проведенный методом АСМ, свидетельствует о характерных изменениях, проявляющихся в образовании глобулярных микронеровностей на поверхности образцов из полимерных материалов, подвергнутых воздействию как многократного, так и однократного лазерного излучения. Образующаяся после обработки лазером морфология поверхностного слоя близка по характеру к микрорельефу поверхности натуральных слуховых косточек (рисунки 4.5(б) и 4.6(б)) и позволяет приблизить функциональные параметры полимерных протезов к аналогичным характеристикам анатомических элементов слуховой цепи.

Управляя технологическими параметрами обработки лазерным излучением полимерных полуфабрикатов можно изменять показатели различных характеристик. Применение лазерных технологий в композиционном полимерном материаловедении позволяет направленно изменять кинетику межфазных процессов с целью формирования структуры заданного состава и строения.

Литература

1. Марычев, С.Н. Полимеры в медицине: учеб.пособие / С.Н. Марычев, Б.А. Калинин. –Владимир : Владим. гос. ун-т, 2001. – 68 с.
2. Пинчук Л.С. Эндопротезирование суставов: технические и медико-биологические аспекты / Л.С. Пинчук, В.И. Николаев, Е.А. Цветкова // Гомель: ИММС НАНБ, 2003. – 308 с.
3. Сорокин, В.Г. Технология лазерного модифицирования полимерных полуфабрикатов для нанесения декоративных покрытий / В.Г. Сорокин, Е.И. Эйсымонт, Е.В. Новгородская, А.В. Чекель // Гродно, 2011 – 3 с.

Д.О. Юшевич (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)

Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГАЗОНАПОРНОЙ АРМАТУРЫ С ПОВЫШЕННЫМ РЕСУРСОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Введение. Трубопроводной арматурой оснащаются многие установки и агрегаты в химической, нефте- и газодобывающей, нефте-газоперерабатывающей промышленности, в металлургии и энергетике. Большое количество видов запорной арматуры используется в судостроении, холодильной промышленности, жилищном и промышленном хозяйстве [1].

При эксплуатации арматуры весьма актуальной является проблема обеспечения герметичности узлов. Во многом уплотнения определяют качественные показатели эксплуатации трубопроводной арматуры, а также допустимые параметры их применения. Неверный выбор уплотнений или их низкое качество, а также неправильная эксплуатация могут привести к отклонениям номинальных показателей работы всего устройства, снижению их надежности и как следствию – большим экономическим потерям.

Массовое применение уплотнений, ставших унифицированными узлами практически всех машин и устройств, существенно влияет на экономическую эффективность техники различного функционального назначения. Упрощение и стандартизация конструкций уплотнений, использование дешевых и недефицитных герметизирующих материалов, уменьшение трудовых, материальных и энергетических затрат при изготовлении и эксплуатации уплотнений без снижения их ресурса становятся первостепенной задачей [2].

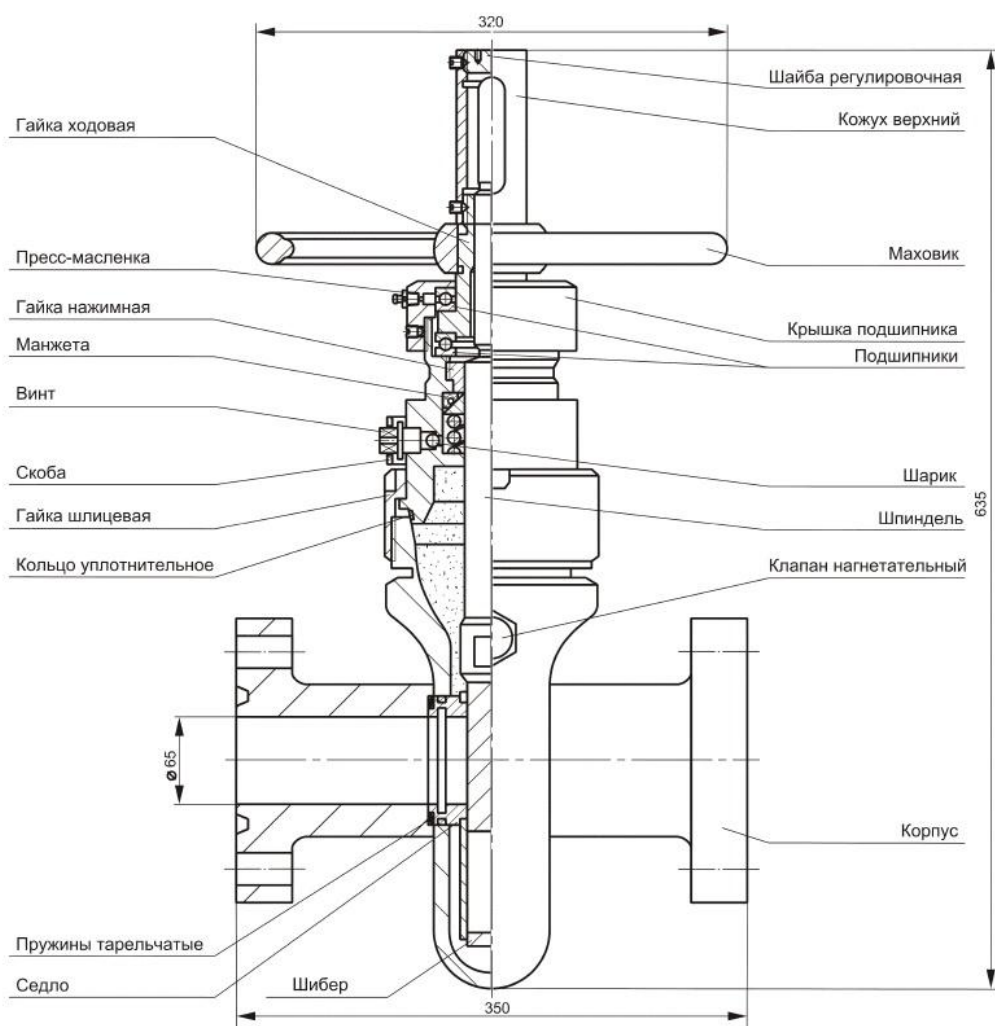


Рисунок 1 – Задвижка ЗМС 65×210

Цель исследования заключается в разработке композиционного материала для герметизации газонапорной арматуры для повышения надежности работы арматуры и увеличения ресурса ее эксплуатации.

В качестве объекта исследования выбран уплотнительный элемент-манжета, установленная на задвижке ЗМС 65×210 (рисунок 1).

На рисунке 2 показаны манжеты из фторопласта и материала ВИТА-320 (терморасширенный графит), а также уплотнительный комплект в сборе соответственно [3].

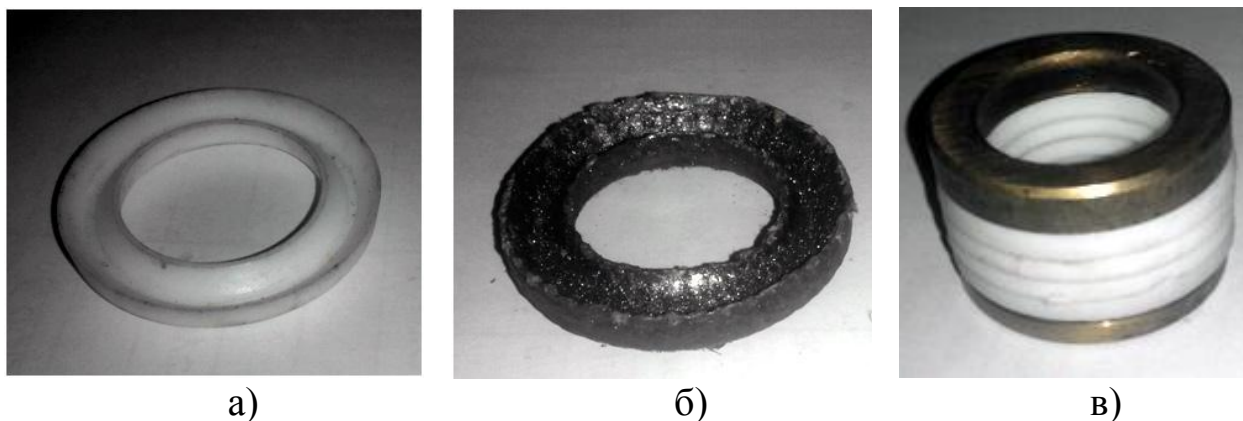


Рисунок 2 – Характерный вид манжет (а, б) для комплекта уплотнительного запорной арматуры (в)

Представляет интерес манжета благодаря своей геометрической форме и свойствам материала. Манжета для данной задвижки представляет собой тело вращения с наружным диаметром 38,5 мм., отверстием диаметром 25,5 мм и толщиной стенки 6,5 мм. В разрезе имеет клиноподобную форму с выемкой также в форме клина.

За счет своей формы, при приложении давления на торцы, манжета увеличивает свои диаметральные размеры (в зависимости от прилагаемого усилия) от 0,1 до 1,5 мм для данного диаметра. То есть отверстие сужается, а наружный диаметр увеличивается, что позволяет сохранять герметичность узла.

Уплотнительный материал ВАТИ-320 представляет собой композицию из нитей терморасширенного графита, пропитанных фторопластовой суспензией. Изготавливается методом спекания отпрессованных таблеток. Терморасширенный графит является дорогостоящим материалом и износ манжеты приводит к увеличению затрат на техническое обслуживание и ремонт запорной арматуры.

Предлагаемым решением по замене материала манжеты ВАТИ-320 является применение манжет на основе фторопласт-4 ТУ 605810-88. По ценовому критерию материал на основе ПТФЭ в 1,5 раза дешевле

и может быть изготовлен за счет более простой технологии прессования с последующим спеканием.

Физико-химические свойства ПТФЭ позволяют эксплуатировать его в агрессивных средах при температуре от минус 269 °С до плюс 260 °С. Температура плавления около плюс 327 °С. По горючести фторопласт относится к группе трудносгораемых материалов, при комнатной температуре он практически не горит даже в среде кислорода.

ПТФЭ обладает самым низким коэффициентом трения в условиях трения без смазочного материала по сравнению с другими полимерами.

Были проведены испытания на твердость по Бринелю, на прочность при растяжении и на износостойкость. Составлен акт производственных испытаний и акт возможного производственного применения. Результаты испытаний сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Характеристики изделий на основе ПТФЭ и Вати 320

Свойства материалов	ПТФЭ	Вати 320
Износостойкость, мм ³ /Н м	2387×10 ⁶	1969×10 ⁶
Прочность при растяжении, МПа	21,7	19,8
Твердость по Бринеллю, НВ	31,6	26,3

Выводы. Предлагаемые материалы на основе ПТФЭ по своим физико-механическим характеристикам не уступают материалу Вати 320, а учитывая более низкую стоимость и доступность, применение материала на основе ПТФЭ позволит уменьшить затраты на техническое обслуживание и уменьшить количество ремонтов, увеличив межремонтные периоды эксплуатации элементов запорной арматуры.

Литература

1. Черноштан, В.И. Трубопроводная арматура: справ. пособие / В.И. Черноштан, В.А. Кузнецов – М.: МЭИ, 2001. – 368 с.: ил.
2. Скаскевич, А.А. Основы герметологии: тексты лекций / А.А. Скаскевич, В.А. Струк. – Гродно: ГрГУ, 2010. – 140 с.
3. Борщенко, Л.И. Запорные краны для магистральных газопроводов и подземных хранилищ (отечественные и зарубежные) / Л.И. Борщенко – Москва: Недра, – 1979. – 258 с.

В.В. Янушкевич (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.С. Антонов**, ст. преподаватель

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦ ДЛЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ ТРЕНИЯ

Введение. Решение проблемы обеспечения гарантированного ресурса эксплуатации тяжело нагруженных узлов трения предполагает системный подход, включающий гамму различных методов повышения показателей служебных характеристик как всей конструкции, так и ее отдельных элементов с использованием композиционных материалов с заданными функциональными параметрами.

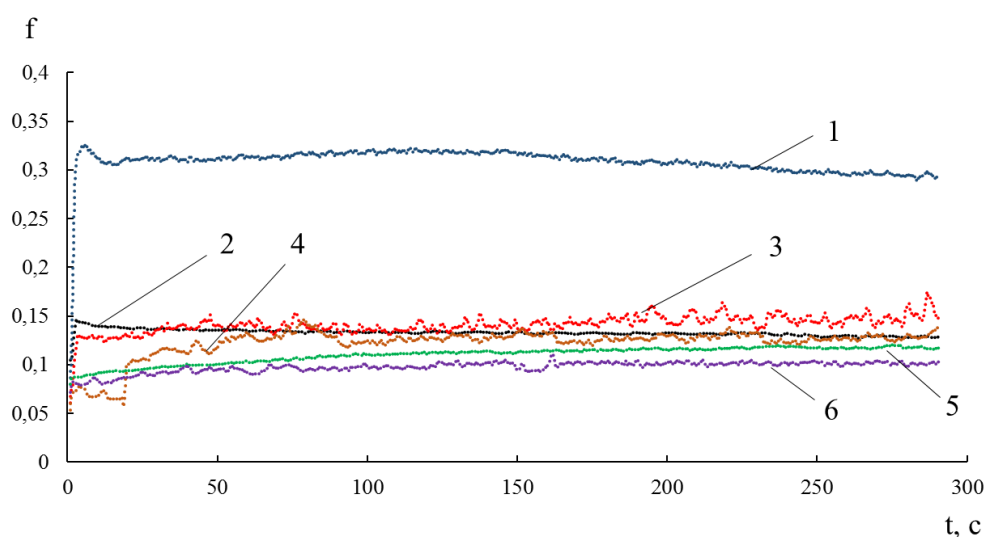
Среди перспективных направлений реализации системного подхода определяющее значение имеют покрытия из функциональных композиций на основе различных матриц – полимерных, олигомерных, совмещенных. Покрытия по совокупности показателей удельного расхода на единицу продукции, эффективности действия, технологичности формирования, как правило, превосходят изделия из композиционных материалов, полученных по традиционным технологиям литья под давлением, прессования и экструзии. Особую актуальность имеют функциональные покрытия в конструкциях узлов трения, к которым предъявляют повышенные требования по параметрам деформационно-прочностных, триботехнических характеристик, надежности и безопасности эксплуатации, эргономичности [1–5].

Целью данной работы являлась разработка составов композиционных материалов на основе полимерных матриц с повышенными показателями триботехнических и деформационно-прочностных характеристик для тяжело нагруженных узлов трения.

Методика исследований. В качестве объектов исследований использовали функциональные покрытия на основе алифатических полиамидов: полиамид 6 (филиал «Завод Химволокно» ОАО «Гродно Азот») и полиамид 11 под торговой маркой Rilsan (Arkema, Франция). Для повышения эксплуатационных характеристик функциональных покрытий использовали ультрадисперсный алмаз УДА-СП и шихту детонационного синтеза баллистических порохов (НП ЗАО «Синта», г. Минск) в количестве до 1 мас. %, полученных по технологиям компактирования при высоких давлениях и температурах [6, 7]. Покрытия наносили на металлические подложки в псевдооживленном слое порошка. Испытания на коррозионную стойкость проводили при воздействии соляного тумана согласно методике [8]. Адгезионную прочность покрытий определяли методом решётчатых надрезов [9], ударопрочность – по

стандартным методикам [10]. Исследования триботехнических характеристик осуществляли по схеме «три индентора – по неподвижному диску» на микротрибометре FT-2 при скорости скольжения $V = 0,016$ м/с и нагрузке $N = 20$ Н [11]. Диаметр шариков – 3 мм (сталь ШХ15). Радиус трассы трения – 16 мм.

Результаты и их обсуждение. Результаты триботехнических испытаний (рис. 1) показали, что введение УДА-СП и шихты детонационного синтеза баллистических порохов в матричный компонент (полиамид 6) оказывает благоприятное модифицирующее воздействие на триботехнические характеристики композиционных материалов.



1 – ПА6; 2 – ПА11; 3 – ПА6 + 0,1 мас. % УДА-СП;
4 – ПА6 + 0,5 мас. % УДА-СП; 5 – ПА6 + 0,1 мас. % шихта;
6 – ПА6 + 0,5 мас. % шихта

Рисунок 1 – Зависимость коэффициента трения от времени для покрытий из композиционных материалов на основе алифатических полиамидов

Исследования адгезионно-прочностных характеристик и испытания композиционных покрытий на стойкость против коррозии свидетельствуют о том, что наилучшими показателями обладают составы на основе полиамида 6 с добавлением шихты детонационного синтеза баллистических порохов в количестве 0,1 мас. %.

Заключение. Разработаны составы композиционных материалов на основе алифатических полиамидов, модифицированных нанодисперсными углеродсодержащими модификаторами. По своим эксплуатационным характеристикам разработанные составы превосходят импортные аналоги материалов на основе полиамида 11 под торговой маркой Rilsan.

Разработанные составы можно рекомендовать в качестве материала для функциональных покрытий для тяжело нагруженных узлов трения промышленного оборудования и автомобильных агрегатов, например, втулок шлицевого соединения карданных валов, элементов амортизаторов.

Литература

1. Кравченко, В.И. Карданные передачи: конструкции, материалы, применение / В.И. Кравченко, Г.А. Костюкович, В.А. Струк; под ред. В.А. Струка. – Мн.: Тэхналогія, 2006. – 409 с.

2. Лиопо, В.А. К механизму действия допинговых наноразмерных модификаторов в полимерных матрицах / В.А. Лиопо, В.А. Струк, С.В. Авдейчик // Пластические массы. – 2007. – № 8. – С. 36-41.

3. Нанокпозиционные и наноструктурные машиностроительные материалы и технологии их получения / С.В. Авдейчик [и др.]; под ред. А.В. Киричека. – М.: Спектр, 2013. – 221 с.

4. Модифицирование материалов и покрытий наноразмерными алмазосодержащими добавками / П.А. Витязь [и др.]; под общ. ред. П.А. Витязя. – Минск: Беларуская навука, 2011. – 526 с.

5. Технологии конструкционных наноструктурных материалов и покрытий / П.А. Витязь [и др.]; под общ. ред. П.А. Витязя и К.А. Солнцева. – Минск: Беларуская навука, 2011. – 282 с.

6. Наноалмазы детонационного синтеза: получение и применение / П.А. Витязь [и др.] / под общ. ред. П.А. Витязя. – Минск: Беларуская навука, 2013. – 381 с.

7. Долматов, В.Ю. Детонационные наноалмазы. Получение, свойства, применение / В.Ю. Долматов. – СПб.: НПО «Профессионал», 2011. – 536 с.

8. ГОСТ 28207-89. Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания. Испытание Ка: Соляной туман. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 7 с.

9. ГОСТ 31149-2014. Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза. – М.: Стандартиформ, 2014. – 12 с.

10. ГОСТ Р 53007-2008 Материалы лакокрасочные. Метод испытания на быструю деформацию (прочность при ударе). – М.: Стандартиформ, 2014. – 10 с.

11. Триботехнические и композиционные материалы: лаб. практикум: в 2 ч. / УО «Гродненский государственный университет им. Я. Купалы»; В.В. Гаврилова [и др.]; под общ. ред. В.А. Струка. – Гродно: ГрГУ, 2013–2014. – Ч. 1: Триботехнические материалы. – 2013. – 39 с.

С.С. Ярош (УО «ГрГУ им. Я. Купалы», Гродно)
Науч. рук. **А.С. Воронцов**, канд. техн. наук, доцент

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ МЕТЧИКОВ ½" ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

Основным видом деятельности предприятия УП «Цветлит» является изготовление продукции бытового и производственно-технического назначения. Технологические процессы производства продукции включают в себя процессы получения заготовок в литейном цехе, их механической обработки, процессы холодной штамповки, гальванической обработки, покраски, сборки, испытаний и упаковки готовой продукции. Основная масса заготовок производится в литейном цехе методом литья под давлением. На участке механической обработки основные операции технологических процессов выполняются на агрегатных и специальных станках RZT-6, CZ-50E, SZ-4W80-УН, ЗХА4357, станках с ЧПУ СК6232L, СК6150, резьбонарезных станках МН-25, МН-56. Важнейшими операциями металлообработки являются операции резьбонарезания [1-2]. Для проведения операций нарезания внутренних резьб широко используются инструменты – метчики.

Объектом исследования служит прямозубый метчик ½", изготовленный из материала Р6М5 (рисунок 1).

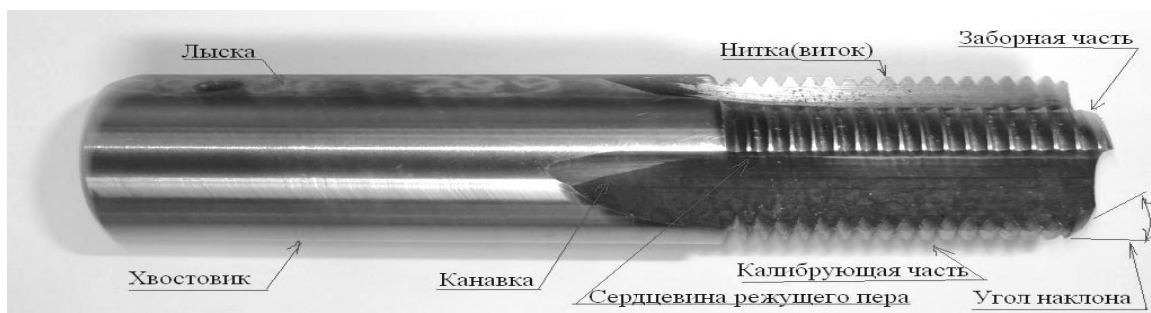


Рисунок 1 – Характерный вид метчика ½"

Шаровые краны изготовлены методом литья под давлением из материала латунь ЛЦ40Сд, который впоследствии обрабатывается на резьбонарезном оборудовании с числовым программным управлением.

Представленный на рисунке 1 инструмент имеет цилиндрический хвостовик с фрезерованной лыской для закрепления (зажимными болтами) в оправке шпинделя.

К элементам, определяющим конструкцию метчика, относятся канавки для размещения стружки, режущие перья, сердцевина (внутренняя часть тела метчика). Традиционное геометрическое исполнение

метчика характеризуется наличием прямой стружечной канавки, которая создаёт неопределенное направление схода стружки и различные по величине боковые передние углы на правой и левой стороне профиля, что может приводить к снижению стойкости инструмента в целом (рисунок 1).

Радиусная форма канавок проста в изготовлении, но имеет не самую эффективную для удаления стружки геометрию, передний угол изменяется от отрицательных значений в начале режущей части до положительных значений в конце режущей части. Угол у нерабочей кромки больше 90° , что приводит к резанию при вывинчивании метчика из обработанного отверстия [1, 3]. При обработке заготовок из особо вязких и прочных материалов необходимо уменьшить площадь соприкосновения резьбы метчика с заготовкой.

Предлагается альтернативная геометрия инструмента, позволяющая устранить преждевременный хрупкий характер разрушения инструмента. Получить повышение стойкости можно за счёт изменения геометрии рабочей части, внесение конструкторских изменений, а также за счёт выбора оптимальных режимов термической обработки [4]. Альтернативный метчик с винтовой канавкой под углом 15° , с направлением одноименным направлению нарезки резьбы обеспечивают сход стружки в сторону хвостовика. Реализованное решение по изготовлению резьбно-нарезного инструмента (метчика $\frac{1}{2}$ ") представлено на рисунке 2.



Рисунок 2 – Альтернативное исполнение метчика $\frac{1}{2}$ "

Машинные метчики, изготовленные с вырезанной ниткой (шахматное расположение зубьев), предназначены для нарезания резьбы в вязких и труднообрабатываемых материалах: сплавах меди и алюминия, латуни, нержавеющей и жаропрочных сталях [1].

Срезание нитки производится на режущей и направляющей частях, при этом каждый оставшийся зуб работает с увеличенной толщиной срезаемого слоя. Если условия срезания стружки удовлетворительные или увеличение толщины срезаемого слоя приводит к увеличению

нагрузки, то срезание нитки производится только на направляющей части. Чертеж инструмента и его характерные конструктивные особенности показаны на рисунке 3.

Направление стружечной канавки задано следующими параметрами - правая спираль $\omega = 15^\circ$, передний углом $\gamma = 1-5^\circ$ – для обработки хрупких латуней по ГОСТ 3266-81.

Задний угол получали затылованием на резьбошлифовальном станке; величина затылования (0,02...0,03 мм по ширине пера). Это приводит к резкому уменьшению трения и облегчению работы [5].

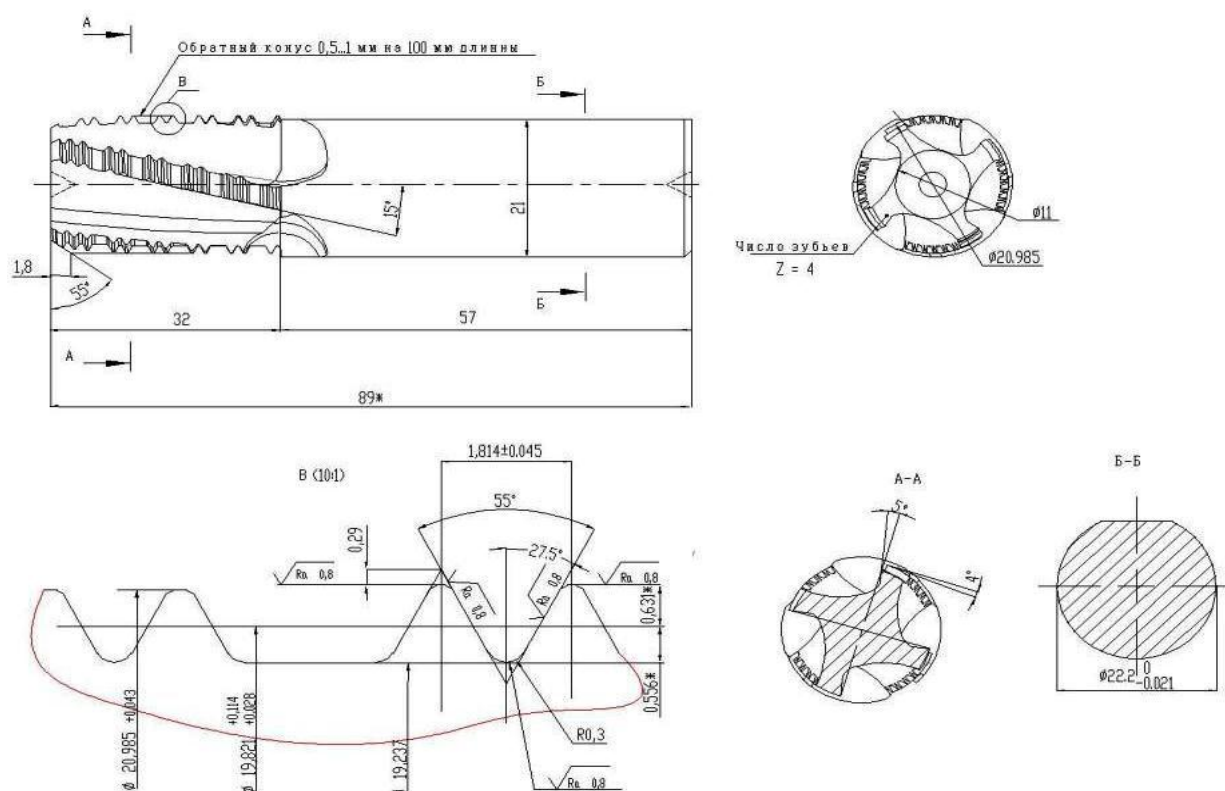


Рисунок 3 – Конструктивное исполнение метчика $\frac{1}{2}$ " измененной геометрии

Выводы. Использование инструмента с новой геометрией стружкоотводящего канала и элементов резьбонарезного инструмента позволяет улучшить условия стружкообразования в сторону хвостовика и предотвращает радиальное смещение оси метчика при прохождении зубом инструмента сформированного канала. Отмечено, уменьшение трения на боковых поверхностях режущих и калибрующих профилей зубьев обработанную поверхность, тем самым уменьшается схватывание и налипание материала заготовки на резьбовые нитки метчика и момент резьбонарезания.

Литература

1. Григорьев, С.Н. Технологические методы повышения износостойкости контактных площадок режущего инструмента / С.Н. Григорьев. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 378 с.
2. Кнорозов, Б.В. Технология металлов и материаловедение / Б.В. Кнорозов. – Москва: Металлургия, 1987. – 800 с.
3. Лахтин, Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин. – Москва: Металлургия, 1984. – 360 с.
4. Поляк, М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения / в 2-х т. – Т1, М.С. Поляк. – Москва: Машиностроение, Л.В.М. СКРИПТ, 1995. – 827 с.
5. Гуревич, Д.Ф. Расчёт и конструирование трубопроводной арматуры / Д.Ф. Гуревич. – Москва: ЛКИ, 2008. – 408 с.

Содержание

Секция 1 «Новые материалы и технологии»

AL-Kamali M.F.S.H., Al-Ademi Y.T.A., Lobunov V. Hiding of heat radiation by means of nanoporous anodic alumina films	6
Алрекаби Х.Т.М., Баругу Т. Г. Рост и теплофизические свойства монокристаллов AgIn_5S_8	8
Алрекаби Х.Т.М. выращивание монокристаллов In_2S_3 методом химических газотранспортных реакций.....	11
Антонович В.К. Составы композиционные для защиты подземных резервуаров.....	13
Асадчий В.С. Частотно-избирательные терагерцовые поглотители для печати на больших площадях.....	16
Баглов А.В. Наноструктурированные пленки диоксида титана, сформированные золь-гель методом.....	19
Батурля И.В. Исследование характеристик моторных масел на основе измерения диэлектрических потерь.....	22
Богдан П.С. Методика определения влияния скорости вращения рабочей поверхности отрезного диска в процессе ее электрореконтактной обработки на его режущую способность.....	27
Будников Н. В. Углеродные нанотрубки в детекторах тераизлучения.....	30
Валюк А.Ю. Материалы с пониженной горючестью на основе вторичных термопластов.....	31
Гаврилик И.В. Технологические особенности штамповки корпусов амортизаторов.....	33
Гайдук Ю.С. Микромощные газовые датчики на основе оксида вольфрама и его композиций, полученных золь-гель методом.....	37
Грицкевич А.И. Материалы на основе регенерированных термопластов для элементов ленточных конвейеров	40
Ермоленко М.П. Технологические рекомендации изготовления изделий из композиционных материалов на основе регенерированного полимерного сырья	42
Жафар М.А. Получение и свойства монокристаллов $\text{CuFeIn}_7\text{S}_{12}$	45
Жуков Е.В. Ультразвуковая активация поверхностей цветных сплавов.....	48
Злобин А.Г. Комбинированные методы повышения эксплуатационного ресурса центробежных насосов.....	51

Кадач Д.Н., Кадач Т.И. Ротопринтное модифицирующее воздействие ультрадисперсного политетрафторэтилена на свойства эластопластов	53
Кондратьева Ю. А. Формирование квазимолекулы водорода H_2^* при термообработке гидрогенезированного кремния.....	56
Кравцевич А.Э. Разработка и исследование рецептурных составов композиционных материалов на основе смесей термопластов.....	58
Куинь Ань Н.Ф. Два типа гиперболических метаматериалов с близкой к нулю диэлектрической проницаемостью на основе нанопористого оксида алюминия.....	61
Куриленко Е.С. Технологические особенности изготовления детали «Держатель патрона» лампы электроосвещения ЛПП 10-2×36-601.....	64
Кушнеров К.И Влияние физических воздействий на триботехнические характеристики фрикционных материалов для узлов нестационарного трения.....	67
Липницкий О.А. Модернизация технологической схемы дистилляции товарного капролактама.....	69
Любочко Н.А. Структура и оптические свойства соединения $Cu_2ZnSnSe_4$	72
Меринов В.К. Влияние волокнистых и дисперсных наполнителей на триботехнические характеристики политетрафторэтилена	75
Москвичев М.И. Методика получения теплоизоляционных материалов на неорганической основе.....	77
Нахай А.М. Наноконпозиционные смазочные материалы для узлов трения транспортных средств и промышленного оборудования.....	78
Никитин С.А. Высоковольтный источник питания множительной колонны генератора Аркадьева-Маркса.....	81
Панасик Д.С. Оптимизация адсорбционных характеристик материалов для фильтрующих элементов очистки воздуха.....	83
Повидайко Д.В. Разработка протекторов на основе вторичного алюминиевого сырья для защиты кузовных элементов автомобильной техники.....	85
Попова М.А., Дворак А.М. Композиционные износостойкие и маслостойкие покрытия уплотнительных O-образных резиновых колец.....	88
Рак В.В. Технологические особенности и режимы нанесения лакокрасочных покрытий	91

Рушнова И.И., Адамович Ю.Ю. Электрически управляемые дифракционные ЖК элементы для преобразования поляризационных характеристик световых полей	93
Савченко А.О. Интернет технологии в сфере развлечений.....	95
Северин А.А. Составы функциональных покрытий на основе безоксидной керамики для инструмента.....	96
Ситак А.В. Оптимизация конструктивного исполнения элементов посудомоечных машин.....	99
Слепченко А.Н. Увеличение ресурса эксплуатации деталей транспортирующего оборудования.....	102
Сокович А.М. Герметизирующие составы насосного оборудования для перекачивания высоковязких жидкостей.....	105
Соляникова К.А. Электрофизические свойства радиационных дефектов в твердых растворах кремний-германий, имплантированных ионами водорода	107
Станчик А.В., Яковенко Ю.С., Башкиров С.А. Атомно-силовая микроскопия прекурсоров Cu-Zn-Sn для тонких пленок $Cu_2ZnSnSe_4$ солнечных элементов	109
Сун Симен Исследование лучевой прочности тонких углеродных покрытий	112
Таболич Н.А. Опто-акустическая технология оксигенации биоткани и его использование в онкологии	114
Татьяненко И. В. Исследование углеродных покрытий легированных фтором	119
Тит Д.В. Составы для изготовления клапанов заборного воздуха вентиляционного оборудования	121
Ходор Баззал, Хунчжи Цинь Процессы образования нитрида алюминия в плазме при воздействии расфокусированных сдвоенных лазерных импульсов на алюминиевый сплав Д16Т в атмосфере воздуха	124
Ходор Баззал, Хунчжи Цинь Исследование влияния расфокусировки на процессы пробивки металлов сдвоенными лазерными импульсами.....	128
Шостко О.А. Принципы формирования оптимальной структуры полимерных композитов для изделий медицинского назначения	131
Юшевич Д.О. Материалы для газонапорной арматуры с повышенным ресурсом эксплуатации	134
Янушкевич В.В. Композиционные материалы на основе полимерных матриц для тяжелонагруженных узлов трения.....	138
Ярош С.С Повышение стойкости метчиков $\frac{1}{2}$ " при производстве запорной арматуры.....	141

Электронное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ**

Материалы V Республиканской
научной конференции
студентов, магистрантов и аспирантов

(Гомель, 21 апреля 2016 года)

В трёх частях

Часть 1

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/87 от 18.11.2013.

Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.