

альтернативного варианта двигательной установки на базе МКВРД ПК с форсажной камерой, существенными преимуществами которого являются на порядок более низкая стоимость, малошумность и повышенная экономичность на крейсерских режимах полета.

3. Преимущества МКВРД перед ТРД МТ в полной мере раскрываются в области аппаратов с тяговооруженностью около 0,3, большой длительностью полета и возможностью высокоскоростного подлета к цели на форсажном режиме.

4. В классе МКВРД ввиду высокой степени термодинамического совершенства (utiлизации низкотемпературного тепла, высоких значений параметров цикла и др.) наиболее перспективным представляется МКВРД-СПГГ, превосходящий в этом смысле и современные полноразмерные ТРДД. На основе внедрения прогрессивных конструкционных материалов и технологий возможно повышение его массогабаритных характеристик до уровня, который позволит ему успешно конкурировать с традиционными ТРДД.

5. ДУ с МКВРД по сути реализуют принцип двухконтурного двигателя и в силу этого превосходят по экономичности ТРД МТ в диапазоне умеренных и высоких дозвуковых скоростей полета.

6. Для производства МКВРД используются те же технологии, что и для авиамодельных ПД, чем определяется наличие подавляющих стоимостных преимуществ по отношению к ТРД МТ.

1. Андреев П. А. Винтовые компрессорные машины. — Л.: Судпромгиз, 1961.—252 с.
2. Баренбойм А. Б. Малорасходные фреоновые турбокомпрессоры. — М.: Машиностроение, 1974.—224 с.
3. Бородин В. Пульсирующие воздушно-реактивные двигатели

- летеющих моделей самолетов. — Харьков: Типоффсетная фабрика.
4. Быков Н. Н., Емин О. Н. Выбор параметров и расчет маломощных турбин. — М.: Машиностроение, 1972.—228 с.
 5. Грин В., Кросс Р. Реактивные самолеты мира. — М.: И-Л, 1957.—284 с.
 6. Давыдов А. Б., Кобулашвили А. Ш., Шерстюк А. Н. Расчет и конструирование турбодетандеров. — М.: Машиностроение, 1987.—232 с.
 7. Дейч М. Е. Техническая газодинамика. — М.: Энергия, 1974.
 8. Калина И. Двигатели для спортивного моделизма. — М.: ДОСААФ, 1983.
 9. Кошкин В. К., Майзель Л. М., Черномордик Б. М. Свободнопоршневые генераторы газа для газотурбинных установок. — М.: Машгиз, 1963.—292 с.
 10. Мамиконов А. Г., Ерохин А. П., Предтеченский Г. И. Теория авиационных компрессоров и газовых турбин. — Л., ЛКБВИА им. А. Ф. Можайского, 1961.
 11. Манушин З. А., Михальцев В. Е., Чернобровкин А. П. Теория и проектирование газотурбинных установок. — М.: Машиностроение, 1977.
 12. Скубачевский Г. С. Авиационные газотурбинные двигатели. — М.: Машиностроение, 1981.—552 с.
 13. Теория воздушно-реактивных двигателей / Под ред. С. М. Шляхтенко. — М.: Машиностроение, 1975.
 14. Тимченко А. Маленький двигатель с большим будущим // Моделист-конструктор. — 1998, № 11-12.—С. 2.

AIR-BREATHING ENGINES FOR UNMANNED FLIGHT MICRO-VEHICLES

A. V. Ambrozhevich, A. A. Potapenko, S. N. Lar'kov, S. A. Yashin, V. L. Simbirskii, K. V. Belyakov

A comparative analysis of suitability of various types of air-breathing engines for the application in unmanned flight micro-vehicles was carried out. A new type of air-breathing engine based on piston engine and volume type compressor is proposed. Main characteristics of this engine were calculated.

УДК 621.355:669.45.08.6

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И КОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ СВИНЦОВОЙ ЛЕНТЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

© Ю. С. Чаплыгина¹, А. П. Стovпченко¹, А. Л. Тарасов²

¹Національна металургійна академія України;
²АТЗТ «Оберон-центр»

Наводяться результати дослідження механічних властивостей (твердість, міцність, пластичність) та корозійної поведінки свинцевої стрічки поточного виробництва. На основі методу симплекс-решіткового планування експериментів виявлені оптимальні склади, використання яких дозволить покращити якісні характеристики прокатаної стрічки та акумуляторних батарей, що виготовляються з неї.

Таблица 1. Состав исследованных аккумуляторных лент

Номер плавки	Содержание основных элементов, %							
	Pb	Sb	Sa	Ca	Al	Cu	Ag	As
№ 20	99.50	0.0001	0.38	0.089	0.011	0.0001	0.0012	0.0002
№ 21	99.635	0.0001	0.25	0.085	0.0064	0.0001	0.0012	0.0002
№ 22	99.641	0.0002	0.25	0.081	0.009	0.0002	0.0016	—
№ 28	99.658	0.0002	0.24	0.078	0.0071	0.0002	—	0.0015
№ 1 III	98.728	< 0.0001	1.17	0.071	0.016	0.0003	0.0019	0.0002

Таблица 2. Механические свойства сплавов свинец-кальций-олово

№ плавки	При растяжении			При сжатии		
	$\sigma_{\text{б}}^{\prime}$, H/mm ²	δ , %	Ψ , %	$\sigma_{\text{б}}^{\prime}$, H/mm ²	δ , %	Ψ , %
20	50.8	33.3	—	—	—	—
21	50.6	32.6	—	50.96	—	—
22	41.8	32	—	48.6	—	—
28	48.5	28.8	—	—	—	—
I III	72.54	5.3	—	—	—	—
по литературным данным	64.5	15.5	9.3	65.7	13.7	32.1
	13.72	37.7	90.0	13.62	25.6	79.7

В настоящее время в качестве химических источников тока используют различные виды аккумуляторов: железоникелевые, никель-кадмийевые, серебряно-цинковые, серно-натриевые, медно-литиевые и др. Наибольшее распространение получили свинцово-кислотные аккумуляторные батареи, что объясняется надежностью их эксплуатации и невысокой стоимостью. Большую часть свинцовых аккумуляторов используют в качестве источников тока для автомобилей. В то же время, совершенствование свинцовых аккумуляторных батарей может существенно расширить сферу их применения. Так, в работе [4] предложен энергетический комплекс, состоящий из стационарной аккумуляторной и солнечной батареи. Свинцовый аккумулятор позволяет накапливать электрическую энергию, вырабатываемую солнечной батареей и дает ток вочные часы или днем в пасмурную погоду. Использована батарея с пластинами из сплава свинец-кальций, что обеспечивает в сравнении с применением пластин из свинец-сурьмянистого сплава меньшие потери воды, большую продолжительность эксплуатации и меньшую скорость саморазряжения (0.04 % в сутки против 0.20 %).

Создание таких энергетических комплексов, совмещающих фотоэлектрический преобразователь, характерный для космической техники, с буфером

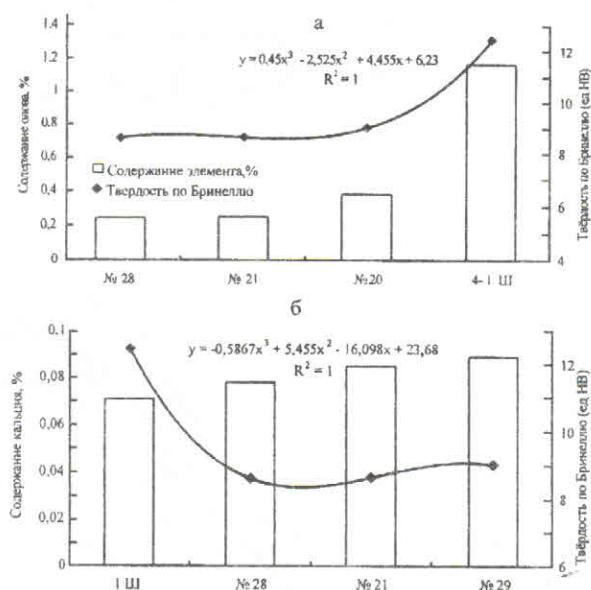


Рис. 1. Зависимость твердости по Бринеллю сплавов свинец-кальций-олово, от содержания в них олова (а) и кальция (б)

— свинцово-кислотной аккумуляторной батареей, позволяет достичь космических технологий в земные условия, причем наиболее целесообразно его применение в отдаленных районах в качестве автономного источника энергии.

Известно, что эксплуатационные свойства аккумуляторной батареи: количество вырабатываемой энергии, стабильность напряжения, время сохранения запаса электрической энергии, число циклов заряда и разряда, потери электроэнергии при заряде на побочные процессы во многом определяются свойствами свинцовых сплавов, которые используются для изготовления пластин.

Свинцовые токоотводы в кислотных батареях выполняют две основные функции — несущего каркаса для активной массы и проводника электрического тока при протекании реакций заряда и разряда. В этой связи сплавы для их изготовления

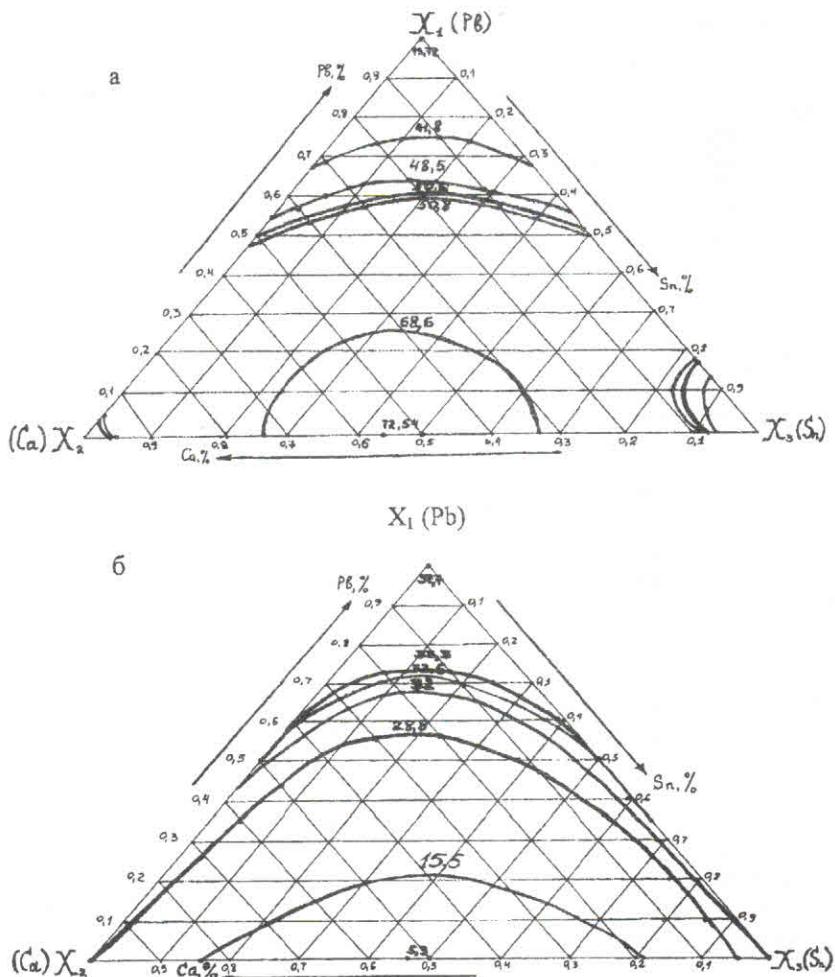


Рис. 2. Зависимость предела прочности (а) и относительного удлинения (б) сплавов свинец-кальций-олово от содержания в них основных легирующих элементов

должны обеспечивать прочность достаточную для предотвращения изгиба, растяжения и коробления при напряжениях, возникающих в циклах заряда и разряда, а также малую скорость коррозии, чтобы избежать уменьшения размеров токоотводов и осыпания активной массы, а также нарушения токопроводящих путей.

Первоначально для изготовления токоотводов батарей использовали свинцово-сурьмянистые сплавы, обладающие высокой прочностью и крипостойчивостью (стойки к росту) а также хорошими литейными свойствами [1]. Однако в последнее время, все чаще используют сплавы свинец-кальций и свинец-кальций-олово, ленту из которых изготавливают способом непрерывной разливки и последующей прокатки.

В данной работе исследовали механические и коррозионные свойства прокатанной свинцовой ленты (ширина — 78.85 мм; толщина — 0.9 мм) производства АОЗТ «Оберон-центр» из сплавов марки PbCa01Sn03 по (ТУ У 20040378.015-01). В качестве сравнительной использовали ленту марки Ш PbCa01Sn012 производства Чехии. В табл. 1 приведено содержание основных элементов в изучаемых сплавах.

Твердость свинцовых сплавов определяли при помощи усовершенствованного твердомера ИТ 5010 (ГОСТ 13406-67). Испытания проводили при температуре 20 ± 5 °С, диаметр шарика равнялся 2.5 мм, нагрузка 15.6 кгс, выдержка в течение 60 с.

По полученным результатам испытаний построены графики зависимости твердости сплавов, от

Таблица 3. Результаты исследований коррозионных свойств сплавов свинца в 10 % H₂SO₄

Номер плавки	Анодная плотность тока, А/дм ²	Поверхность образцов S, м ²	Масса образца, г		Скорость коррозии, K _{sub} ш., г/м ² ·ч
			до опыта	после опыта	
№ 21	10	0.0011	5.338	5.3136	3.7
№ 20	10	0.0011	5.9498	5.9237	3.0
№ 28	10	0.0011	5.8278	5.8020	3.92
№ 1Ш	10	0.0011	6.0798	6.0630	2.56

содержания в них кальция (рис. 1, а) и олова (рис. 1, б).

Установлено, что с повышением содержания олова твердость сплавов свинец-кальций-олово увеличивается, с повышением содержания кальция уменьшается. Сопоставляя полученные данные с результатами исследований морфологии вторичных фазовых частиц [2, 3] можно полагать, что увеличение содержания олова приводит к увеличению количества частиц (PbSn)₃Ca и Sn₃Ca, а добавка кальция изменяет состав частиц (на от Pb₃Ca до (PbSn)₃Ca-Sn₃Ca) и обеспечивает большую стабильность твердой фазы. Стабильность твердой фазы также увеличивается при наличии серебра.

Прочностные и пластические характеристики свинцовых лент — предел прочности σ_u и относительное удлинение δ определяли стандартными методами (ГОСТ 1497, ГОСТ 11701).

По результатам испытаний прочности и пластических свойств и методом симплекс-решетчатого планирования экспериментов были найдены оптимальные составы системы сплавов свинец-кальций-олово. Изолинии для тройной системы сплавов свинца представлены на рис. 2.

На основе представленных данных можно сделать вывод о том, что высокой величиной предела прочности при удовлетворительных пластических свойствах обладает сплав, содержащий следующие легирующие элементы: Ca — 0.089 %; Sn — 0.38 % при содержании свинца 99.5 %.

Выполнены исследования коррозионных свойств свинцовых сплавов текущего производства путем электролиза в 10 %-й серной кислоте (табл. 3). Продолжительность испытания составила 6 ч.

Показано, что с увеличением содержания олова в сплавах свинец-кальций-олово, скорость коррозии в 10 % H₂SO₄ уменьшается. Влияние кальция неоднозначно, поскольку с увеличением его содержания в сплаве коррозионная стойкость в 10 % H₂SO₄

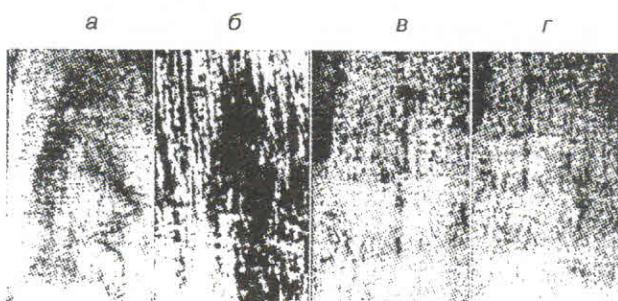


Рис. 3. Общий вид свинцовых сплавов после коррозионных испытаний в серной кислоте: а — образец № 21, б — № 28, в — № 20 и г — 1Ш

сначала повышается, а затем падает. В то же время низкое значение коррозионной стойкости сплава плавки № 28 может быть связано с отсутствием в его составе серебра, которое увеличивает стабильность твердого раствора. Общий вид образцов свинцовых сплавов после травления в серной кислоте представлены на рис. 3.

Обращает на себя внимание существенное уменьшение размеров и рыхлая поверхность образца плавки № 28. На образцах свинцовой ленты плавок № 20 и 1Ш образовался плотный слой металлического свинца губчатой структуры, в то время как на образцах плавок № 21 и, в большей мере, плавки № 28 на поверхности есть и рыхлый слой продуктов коррозии (преимущественно сульфаты свинца). В образцах плавки № 28 наблюдается растрескивание и выкрашивание материала по границам зерен, что, по-видимому, связано с нестабильностью твердого раствора (в отсутствие серебра и несбалансированности содержания кальция и олова) из-за возникающих в сплаве внутренних напряжений.

ВЫВОД

Исследованиями механических свойств и коррозионной стойкости сплавов текущего производства показано, что оптимальными свойствами обладают сплавы со сбалансированным содержанием легирующих элементов: кальция на уровне 0.08—0.1 % и олова 0.35—0.4 % при содержании серебра 0.0015—0.002 %. В таком сплаве меньше вероятность развития процессов рекристаллизации, разупрочнения и коррозии при эксплуатации аккумуляторных батарей.

1. Journal of Power Sources 67 (1997) 267-278. RSR Technologies. Inc., 2777 Summons Freeway, Suite 1800, Dallas, TX 75207, USA Received 3 October 1996; accepted 26 November 1996.
2. Hertz C. Fornasieri J., Hilger P., Notin M. // Proc. LABAT'93. — Vama, Bulgaria, 1993.—42 p.
3. Prengamen R. D. // J. Power Sources.—1995.—53.—P. 207.
4. Yamasaki Ken-Ichiro, Nagai Yoshiaki. Stationary lead-acid battery with calcium alloy grids for use with solar cells // Progr. Batteries and Sol. Cells.—1982.—N 4.—P. 196—200.

THE STUDY OF MECHANICAL AND CORROSION PROPERTIES OF LEAD STRIP FOR CHEMICAL SOURCES OF ELECTRIC POWER

Yu. S. Chaplygina, A. P. Stoyachenko, A. L. Tarasov

The results of investigation of mechanical properties (hardness, strength, and plasticity) and corrosion behaviour of lead strip of the current manufacture are presented. On the basis of the simplex method the optimum compounds are revealed the use of which allows us to improve the qualitative characteristics of rolled strip and accumulator batteries manufactured from it.

УДК 621. 45: 535. 41

РАЗРАБОТКА МЕТОДА УЧЕТА РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ
НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ УЗЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© А. С. Лысенко

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського (ХАІ)

Пропонується розрахунково-аналітичний метод оцінки ступеня впливу перебігу процесу релаксації напружень на дієздатність групових різьбових з'єднань двигунів літальних апаратів. Метод потенційно точніший, ніж інші відомі методи, що підтверджено спеціальними експериментами.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в связи с постоянно растущей напряженностью условий эксплуатации элементов и узлов двигателей летательных аппаратов (ДЛА) становится актуальным вопрос о протекании в них процесса релаксации напряжений. Сущность релаксационных процессов заключается в переходе узла или элемента конструкции от неравновесного состояния к равновесному, что сопровождается снижением напряжений в узле. Так, например, протекание релаксации напряжений в групповых резьбовых соединениях (ГРС) снижает усилия (момента) затяжки в крепежных элементах; процесс релаксации в материале диска, тую посаженного на вал, приводит к ослаблению усилия посадки диска, что в конечном итоге приводит к его проворачиванию на валу; релаксирующие напряжения в заневоленной пружине являются причиной того, что сила упругости пружины уменьшается, в результате чего пружина с течением времени перестает выполнять свои функции и т. д.

Таким образом, становится очевидной необходимость учитывать при проведении конструкторских и прочностных расчетов протекание релаксации напряжений в элементах и узлах ДЛА. Традиционно релаксационные явления косвенно учитываются

введением в расчеты поправочных коэффициентов. Эти коэффициенты определяются в основном эмпирическим путем, и в силу невысокой точности зачастую приводят к чрезмерной «перестраховке» при проведении прочностных расчетов. Таким образом, актуальной является проблема изыскания путей повышения точности оценки влияния протекания релаксационных явлений на работоспособность ДЛА.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО И ТЕОРЕТИЧЕСКОГО
ИССЛЕДОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ РЕЛАКСАЦИИ
НАПРЯЖЕНИЙ

Проведенный автором анализ изученности явления релаксации напряжений показал следующее.

Изучение явления релаксации напряжений и особенностей его протекания с самого начала было только посредством гипотез и экспериментов [8]. Затем по гипотезам, которые были подтверждены результатами практических исследований, строились теории, целью которых было объяснение причин возникновения явления релаксации напряжений, а также аналитическое описание хода процесса релаксации. Среди наиболее значимых теорий следует выделить теорию упрочнения Надаи и Да-