

ИЗСЛЕДВАНЕ НА КОМПОЗИТНИ СЪСТАВИ ЗА СОПЛОВИ БЛОК НА ЕКОЛОГИЧНО ЧИСТИ РАКЕТНИ ДВИГАТЕЛИ

**Христофор Скандалиев¹, Калин Крумов^{1,2},
Нели Сивева^{1,2}, Олег Панайотов², Силвия Венкова²**

¹Клуб за аерокосмически технологии “Зодиак” – Кюстендил
²Химикотехнологичен и металургичен университет – София
e-mail: fori2ivanov@yahoo.com; kkrumov@uctm.edu

Ключови думи: *Експериментални изследователски ракети, ракетни двигатели, композитни материали, аерокосмически технологии, чисти технологии, екология*

Резюме: *Проведено е експериментално изследване за подбор на подходящ композитен състав за соплови блок в двигателите на ракети с гражданско приложение. Описани са първоначални резултати от тестовете на няколко различни разновидности композитни материали, съставени от минерални вещества и якостни добавки. Изследваните технологични решения са свързани със създаването на ново поколение екологично чисти твърдогоривни ракетни двигатели, напълно разградими в природна среда.*

RESEARCH OF THE COMPOSITES FOR NOZZLES OF GREEN ROCKET MOTORS

**Hristofor Skandaliev¹, Kalin Krumov^{1,2},
Neli Siveva^{1,2}, Oleg Panayotov², Silvia Venkova²**

¹Club of aerospace technologies “Zodiac” – Kyustendil
²University of Chemical Technology and Metallurgy – Sofia
e-mail: fori2ivanov@yahoo.com; kkrumov@uctm.edu

Keywords: *Experimental sounding rockets, rocket motors, composites, aerospace technologies, green technologies, ecology*

Abstract: *An experimental research to select a suitable composite composition for the nozzles of rocket motors for civilian use has been conducted. Initial test results for several different varieties of composite materials composed of mineral substances and strength additives are described. The research solutions are related to the creation of a new generation of environmentally friendly solid-fuel rocket engines, completely degradable in a natural environment.*

Въведение

Двигателите на ракетите с твърдо гориво представляват в най-общия случай затворена камера от термоустойчив материал, в която изгаря заряд с определена форма при точно зададени параметри. При това контролирано изгаряне се отделя голямо количество газове, които излизайки през соплото на двигателя, осигуряват задвижващата тяга на ракетата. Определящ параметър за работата на тази система е налягането в камерата на ракетния двигател. Работното налягане е функция от геометрията на твърдогоривния заряд, неговата открита за горене повърхност и отвора на соплото, наречен критичен диаметър. В зависимост от използвания материал, критичният диаметър може да остава постоянен по време на цялата работа на двигателя, или да се променя чрез аблация, като по този начин се изменя и зависимостта *налягане - тяга*.

Във военната и космическата техника за изработка на сопла се използват множество различни топлоустойчиви материали с висока якост – високотопими метали, графити, високотемпературна керамика, композитни състави от типа въглерод-въглерод и др.

В гражданския сектор, от съображения за сигурност и икономичност, предпочитани са сопла от пресована глина и минерали в пиротехниката, фенолни сопла при противорадовите, експерименталните и любителските ракети, комбинации от метал и графит при изследователските и метеорологичните ракети.

Основни цели на проведеното изследване:

Основните задачи са свързани с предварителен подбор на съставни компоненти, технология на изработка и подходяща геометрия на соплови блок за ракети с цивилно приложение, най-вече противорадови, изследователски и любителски. Целта е да се постигне комбинация от безопасност и минимално ниво на вредно екологично въздействие при производство и употреба, ниска цена, опростена технология и високи експлоатационни параметри.

За постигане на така формулираната задача се преминава през няколко последователни етапи:

- избор на концепция за структурата на сопловия блок;
- подбор на подходящи леснодостъпни и евтини високотопими материали;
- създаване на технология за конструктивно оформяне на соплото;
- изпитания на образци от създадените материали;
- разработка на прототипи на действащи соплови блокове за двигатели;
- окончателни тестове в работна среда - наземни и полетни;
- обработка на получените данни и заключения за функционалността.

Експериментална работа

Проведени са експериментални изследвания на конструктивни материали, базирани на алкално активирани алумино-силикатни материали, познати в някои публикации като геополимери [1, 2, 3]. Изборът на подобен подход е продиктуван от ниската цена и достъпност на влаганите компоненти, опростена технология за формоване на необходимите детайли, екологична безопасност на съставките и готовите изделия и възможността за естественото им разграждане в природна среда след употреба. Първата фаза от необходимите изследвания се състои в избор на възможни градивни съставки и технологична схема за оформяне на детайли.

От първостепенна важност е изделията, създадени по такава технология, да имат необходимите механични и якостни характеристики, да издържат високите работни температури и налягания, да имат достатъчна за еднократна употреба износоустойчивост от изтичащия през соплото поток от газове и кондензирани частици. Всички тези изисквания за работоспособност и надежност са предмет на следващи етапи, предвидени в изследването.

Принципът за получаване на алкално активирани материали (ААМ) се състои във взаимодействие между алкални разтвори и прахообразни алумино-силикатни пълнители [6]. В конкретния случай за активатори са използвани водни разтвори на натриев силикат Na_2SiO_3 40% и натриев хидроксид NaOH 20%, а прахообразни прекурсори са магнезиев оксид (MgO), смляна въглищна сгурия/сгуропепел от бобовдолски въглища и властонит ($\text{Ca}_3(\text{Si}_3\text{O}_9)$). Сгурията, получавана при изгаряне на въглища от Бобов дол, има приблизителен състав [5], както следва:

(1) SiO_2 - 60%, Al_2O_3 - 23%, Fe_2O_3 - 9%, CaO - 4%, MgO - 1,4%, Na_2O - 0,6%, K_2O - 2%

Всички тези прекурсори са високотопими вещества, или смес от оксиди, с температури на топене над 1500°C . Механизмът на гелообразуване и последващо втвърдяване на такива системи е подробно разглеждан от много автори [4] и не е предмет на настоящата работа.

Физико-механичните и якостните им качества зависят от процентното съотношение на съставките, концентрацията на активирания алкален воден разтвор и от условията при фазата на химична реакция и втвърдяване - температура и влажност. Водата от алкалния разтвор не участва в химичните реакции на полимеризация и не е част от пространствената химическа структура на получения материал. За синтеза на геополимера определящи са катионите на Al , Si , Ca и Mg , което е определящо при избора на така посочените прахообразни вещества.

За целите на изследването са изработени тестови образци ГП1-ГП6 със следните съотношения на алкалните разтвори и прахообразните прекурсори в тегловни проценти в границите:

№ на образец	Струопепел	MgO	Воластонит	Na ₂ SiO ₃ p-p	NaOH p-p
	%	%	%	%	%
ГП1	-	60-75	-	25-40	-
ГП2	30-40	20-35	-	25-40	-
ГП3	60-75	-	-	25-40	-
ГП4	48-57	-	-	20-35	8-17
ГП5	25-35	25-35	10-20	25-35	8-17
ГП6	35-50	5-20	1-15	20-35	8-17

Образците са изготвяни чрез смесване на компонентите при стайна температура в калъпи с цилиндрична форма и последващо втвърдяване при температура 65°C и относителна влажност на въздуха 70 %. Не е използвано пресоване при формоване на гелообразната маса, а само вибрационно уплътняване за няколко минути. При така посочените съотношения на отделните мостри, са направени разновидности от тях, различаващи се по диаметъра на цилиндъра, а именно 40 mm, 50 mm и 60 mm.



Изчислена е обемната плътност на различните тестови образци, която е посочена в следващата таблица и сравнена с плътността на графита, който масово се използва за сопла:

№ на образец	Обемна плътност
	g/sm ³
ГП1	2,20
ГП2	1,96
ГП3	1,82
ГП4	1,76
ГП5	2,05
ГП6	1,90
Графит	2,00 до 2,23

Плътността на всичките образци е съизмерима или по-ниска от тази на графита, което се дължи освен на използваните вещества, така и на порообразуването при изпаряване на водното съдържание от алкалните разтвори. Доколко това обстоятелство ще оказва влияние върху топлинните характеристики, механичните и якостните качества на образците предстои да бъде изследвано в следващите етапи на работата.

Проведени са тестове за механична обработка на мострите чрез струговане и пробиване на критичен диаметър с конкретни размери на сопла, подготвени за огневи експерименти в тестов моделен ракетен двигател. Образците се обработват лесно и запазват

желаните геометрични форми. Без трудности се осъществява монтаж и укрепване на сопловия елемент в камерата на тестови двигател.



Изводи

1. Направени са успешни експерименти за получаване на детайли за соплови блок на моделен ракетен двигател чрез технология за алкално активиране на сухи прахообразни прекурсори, съдържащи алумино-силикати и високотопими оксиди.

2. Пригответни са тестови образци с добра обемна плътност, позволяващи лесна механична обработка и монтаж в леглото на двигателя.

3. Предстоят изпитания на образците за охарактеризиране на тяхната топлоустойчивост, механична издръжливост и якостни характеристики в работни условия.

Литература:

1. Provis, J. L., J. S. J. van Deventer. Geopolymers Structure, processing, properties and industrial application. Oxford : Woodhead ; Boca Raton, FL: CRC Press, 2009.
2. Usha, S., D. G. Nair, S. Vishnudas, GEOPOLYMER BINDER FROM INDUSTRIAL WASTES: A REVIEW. IJCIET, Volume 5, Issue 12, December 2014, pp. 219–225.
3. Джамбазов, С., А. Йолева. Специални керамични материали. ХТМУ, София, 2011.
4. Фиговский, О. Л., П. Г. Кудрявцев. Жидкое стекло и водные растворы силикатов, как перспективная основа технологических процессов получения новых нанокomпозиционных материалов. Йерусалим, 2014.
5. Тодоров, К., Състав на сгуропепелните смеси от утайниците на българските термоелектроцентрали. БАН, София, 1983.
6. Bumanis, G., D. Vajare, J. Locs. The Effect of Activator on the Properties of Low-Calcium Alkali-Activated Mortars. Riga, Latvia, 2014.