Л.Л. Краснов, З.В. Кирина

МАТЕРИАЛЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ЗАЩИТУ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОТ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ПРОЦЕССЕ ИХ КРАТКОВРЕМЕННОЙ И ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 260°С

Работа посвящена исследованию свойств теплозащитной пасты. Паста состоит из полуфабриката пасты и отвердителя. Готовая паста наносится на поверхность кистью или шпателем. В статье есть данные по физическим и теплофизическим свойствам материала ВТИ-3. Особое внимание уделено исследованию теплофизических свойств огнезащитной пасты.

***Ключевые слова**: теплозащитные пасты.*

Обеспечение работоспособности конструктивных элементов – защита от потери прочности при тепловом воздействии – всегда было одной из важных проблем научно-технического прогресса при создании новой современной высокоскоростной техники.

Анализ показал, что наибольшее применение получили традиционные теплоизоляционные материалы на неорганической основе (минеральная вата, рубленое стекловолокно, жаростойкие волокна из оксида алюминия, кварца, асбеста), материалы на основе вспененного жидкого стекла, вспученный перлит и вермикулит, ячеистые бетоны, пенопласты на основе полихлорвинила, полиуретана, фенолформальдегидных и карбамидоформальдегидных смол и их модификаций и др. [1–4].

В современном машиностроении теплозащитные материалы используют в конструктивных элементах:

– для защиты от перегрева с целью исключения потери прочности и разрушения конструкции;

– в качестве теплоизоляции – защиты конструктивных элементов теплоносителей с целью исключения потерь тепловой энергии, например при транспортировке теплоносителя, и т. д.

Теплоизоляционные материалы в современном машиностроении отличаются большим разнообразием ассортимента. Для их изготовления используются порошкообразные и волокнистые наполнители на органической и неорганической основе, пеноструктуры и их различные модификации.

Теплофизические и эксплуатационные свойства теплоизоляционного материала зависят от:

– химического состава наполнителя;

– физических характеристик – как исходных компонентов, так и композиции в целом;

– химического процесса при воздействии температуры эксплуатации;

– технологических способов получения теплоизоляционного материала;

– типа связующего;

– условий эксплуатации и др.

Теплоизоляционные материалы в разрабатываемых конструкциях должны отвечать комплексу современных требований:

– высокие теплоизоляционные свойства;

– термостойкость или жаростойкость – в зависимости от требований;
– высокая технологичность;
– доступность, дешевизна, наличие сырьевой отечественной базы;
– экологичность производства и т. д.

В последние годы учеными предложена оригинальная теплоизоляционная композиция (жидкая теплоизоляция) Thermal Coat [3], производитель – фирма «Capstone Manufacturing LLC» (США). Полуфабрикат материала Thermal Coat представляет собой пасту в виде водной однокомпонентной суспензии на основе полимерной матрицы, состоящей из синтетического каучука, акрилового сополимера и пигмента на основе двуокиси титана, а также полых микросфер на основе стеклокерамического состава (ТУ 26.2-31797789-001–2002).

Отечественной промышленностью предложен аналогичный материал «Изоллат» фирмы ООО «Специальные технологии» (г. Екатеринбург; технические условия ТУ 2216-001-59277205–2002).

Материал «Изоллат» представляет собой однокомпонентную полимерную матрицу на основе акрилового сополимера, наполненного полыми микросферами.

Недостатком предложенных материалов является сравнительно низкая термическая стойкость (170–200°С).

Теплоизоляционное покрытие ВТИ-3, разработанное в ВИАМ, представляет собой двухкомпонентную систему, состоящую из пасты ВТИ-3 и компонента №1 (отвердителя). Покрытие предназначено для работы при температуре 250°С (длительно) и при температуре 350°С (кратковременно). Композиция отверждается при комнатной температуре. Нанесение на защищаемую поверхность – кистью, шпателем, напылением и формованием в ограничительной форме.

Данные по физико-механическим характеристикам приведены в табл.1.

Таблица 1

Физико-механические свойства материала ВТИ-3

Свойства	Температура испытания, °С	Значения показателей
Плотность, г/см^3	20±2	0,2±0,05
Предел прочности при растяжении, МПа	-60 +20 +250	0,4–0,5 0,20–0,3 0,12–0,18
Относительное удлинение, %	-60 +20 +250	6–8 8–14 17–15
Предел прочности при сжатии, МПа	20±2 После термостатирования при +250°С, 50 ч	0,6–1,0 0,4–1,2

Анализ данных показал, что предел прочности при растяжении существенно зависит от температуры: так, при -60°С прочность составляет 0,4 МПа, а при +250°С: 0,15 МПа. Относительное удлинение при растяжении при -60, +20 и +250°С: соответственно 7, 10, 12% (средние значения).

Анализ физических свойств показал, что материал ВТИ-3 имеет на 40–50% пониженную плотность (по сравнению с материалом Thermal Coat). Оценка механических свойств показала, что предел прочности при растяжении составил 0,2–0,3 МПа при 20°С. Относительное удлинение при разрыве 8–14% при 20°С.

Исследование воздействия агрессивных сред на материал ВТИ-3 показало, что после выдержки образцов при φ=98% в течение 30 сут привес составил 2–5%, водопоглощение 20–35%, бензопоглощение ~120%.

Адгезионные свойства материала ВТИ-3 определялись по ОСТ 34387–80, ГОСТ 217.51 на грибках диаметром 60 мм. Результаты испытания показали, что предел прочности на отрыв составил 0,121–0,141 МПа (разрушение по материалу).

Известно, что эффективность теплоизоляционных материалов определяется их теплофизическими свойствами. В табл. 2 и 3 приведены результаты испытаний теплофизических свойств материала ВТИ-3.

Таблица 2

Теплофизические свойства* материала ВТИ-3 при температурах от -60 до +300°С (плотность 0,16–0,19 г/см^3)

Температура испытания, °С	Теплопроводность λ, Вт/(м·К)	Удельная теплоемкость c_p, кДж/(кг·К)	Температуропроводность $a\cdot10^7$, м^2/с
-60	0,050	0,87	3,59
0	0,056	1,05	3,33
+25	0,060	1,12	3,35
+50	0,062	1,20	3,23
+100	0,067	1,34	3,13
+150	0,076	1,40	3,39
+200	0,083	1,42	3,65
+250	0,093	1,35	4,31
+300	0,100	1,20	5,21

* Испытания выполнены Я.А. Абелиевым.

Таблица 3

Температурный коэффициент линейного расширения* материала ВТИ-3

Диапазон температур, °С	Среднее значение ТКЛР: $\alpha\cdot10^6$, К$^{-1}$
0–50	1,6
50–100	2,8
100–150	5,4

* Испытания выполнены Я.А. Абелиевым.

Исследования показали, что коэффициент теплопроводности материала ВТИ-3 зависит от плотности ВТИ, а также структуры и плотности наполнителя – микросфер (табл. 4).

Таблица 4

Зависимость теплопроводности материала ВТИ-3 от плотности

При использовании микросфер			
отечественного производства		производства Австралии	
Плотность материала, г/м^3	Теплопроводность λ, Вт/(м·К)	Плотность материала, г/м^3	Теплопроводность λ, Вт/(м·К)
130	0,045	120	0,043
140	0,048	140	0,045
160	0,056	160	0,051
180	0,069	180	0,056
210	0,072		
240	0,076		
280	0,081		
320	0,09		

Важными характеристиками, определяющими возможность применения теплоизоляционного покрытия, являются огнезащитные свойства (горючесть, дымообразование и тепловыделение). В табл. 5, 6 и 7 приведены огнезащитные свойства теплоизоляционного материала ВТИ-3.

Таблица 5

Огнезащитные свойства* теплоизоляционного материала ВТИ-3 (горючесть – испытания при вертикальном положении образца)

Условный номер образца	Время экспозиции, с	Время остаточного горения после экспозиции, с	Длина прогорания, мм	Время горения капель, с	Группа горючести материала
1	12	1	0,7	Нет	Самозатухающий
	60	1	25		
2	12	21	16	Нет	
	60	35	23		
3	12	0	15	Нет	
	60	0	17		

* Испытания выполнены С.Л. Барботько.

Таблица 6

Характеристика дымообразования* материала ВТИ-3 (испытания под воздействием теплового потока 25 кВт/м^2)

Наименование материала	Толщина, мм	Режим испытания	Показатели дымообразования			Группа дымообразования
			$Д_2$	$Д_4$	$Д_{max}$	
ВТИ-3 (на основе каучука СКТНФ)	6	Горение	31	33	33	III (среднедымящий)
		Пиролиз	5	10	18	

*Испытания выполнены С.Л. Барботько.

Таблица 7

Величина тепловыделения материала ВТИ-3 (испытание под воздействием теплового потока 35 кВт/м^3)

Наименование материала	Толщина, мм	Максимальная скорость выделения тепла (пик), кВт/м^2	Общее количество выделившегося тепла (за 2 мин), кВт·мин/м^2
ВТИ-3	4	52	31

*Испытания выполнены С.Л. Барботько.

Анализ полученных свойств показал, что материал ВТИ-3 по горючести относится к группе самозатухающих материалов, с остаточным временем горения 7–12 с, длина прогара 11 и 22 мм (среднее из трех образцов, испытанных при экспозиции 12 и 60 с соответственно), горения капель нет. По дымообразованию материал отнесен к группе III, среднедымящий.

Максимальное значение тепловыделения составило 52 кВт/м^2, общее наличие выделенного тепла: 31 кВт·мин/м^2. Материал ВТИ-3 является грибостойким (2 балл – по шестибальной шкале).

Металлические образцы с защитой материалом ВТИ-3 подвергнуты *коррозионным испытаниям* по режиму: нагрев при 60°С в течение 12 ч с последующей выдержкой в камере влажности в течение 6,5 сут.

Результаты визуальной оценки состояния поверхности образцов после испытаний приведены в табл. 8.

Таблица 8

Результаты коррозионных испытаний* металлических образцов с защитой материалом ВТИ-3

Материал образца	Состояние поверхности образца после циклических коррозионных испытаний (60°С, 12 ч + камера влажности 6,5 сут)	
	поверхность контрольная	поверхность образца в контакте с материалом ВТИ-3
Алюминиевый сплав Д16-Т (неплакированный, неанодированный)	Небольшая равномерная коррозия	Равномерная коррозия поверхности
Алюминиевый сплав Д16-Т (неплакированный, анодированный)	Практически без изменения	Пятна коррозии (до 20% площади поверхности)
Алюминиевый сплав Д16А-Т (плакированный)	Помутнение зеркальной поверхности	Коррозия поверхности, единичные очаги коррозии
Алюминиевый сплав Д16-АТ с Ан.Окс.нхр. покрытием	Без изменения	Практически без изменения
Конструкционная сталь 30ХГСА	Единичные питтинги и язвы на поверхности	Коррозия поверхности продуктами коррозии
Конструкционная сталь 30ХГСА с кадмиевым покрытием	Без изменения	Практически без изменения
Нержавеющая сталь Х18Н9	То же	Без изменения
Титановый сплав ОТ4-1	-«-	То же

* Испытания выполнены Л.И. Авдюшкиной.

В результате испытаний установлено, что контакт с материалом ВТИ-3 усилил коррозию сплава Д16 (неплакированного, неанодированного); Д16 (неплакированного, анодированного); Д16 (плакированного); конструкционной стали 30ХГСА (без защитного покрытия) и не вызвал коррозии сплава Д16-АТ с анодно-оксидным покрытием (Ан.Окс.нхр), стали 30ХГСА с защитным кадмиевым покрытием, нержавеющей стали Х18Н9 и титанового сплава ОТ4-1.

Таким образом, материал ВТИ-3 может применяться в контакте с титановыми сплавами, нержавеющей сталью. Конструкционные стали без защитных покрытий и анодированные алюминиевые сплавы в контакте с материалом ВТИ-3 должны иметь защитные ЛКП в соответствии с отраслевой документацией.

Практическое опробование разработанного материала показало, что возможно получение эффективного покрытия путем нанесения жидкой теплоизоляции напылением, шпателем или кистью.

ВИАМ готов рассмотреть возможность решения задачи по защите конструктивных элементов от прогрева, а также по снижению потерь тепла при транспортировке, предоставить необходимую техническую и технологическую документацию и оказать содействие в приобретении, опробовании и внедрении теплоизоляционного материала ВТИ-3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Система теплозащиты многоразового космического корабля «Спейс Шаттл»: Обзор по материалам иностранной печати /Под общей редакции Г.Е. Лозино-Лозинского. М.: ЦАГИ. 1981. ч. 1. 1983. С. 2–22.
2. Гофин М.Я. Жаростойкие и теплозащитные конструкции многоразовых аэродинамических аппаратов. М.: ЗАО «ТФ МИР». 2003. С. 10–30; 198–217.
3. Материал Thermal Coat //Техника молодежи. 2006. №5.
4. Экспресс-информация по материалам отечественной и зарубежной печати. М.: ВИАМ. 2002. №3.