

УДК 620.22:629.76/78

Карпикова О. А., Гусарова И. А., Потапов А. М.

Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля.
Украина, г. Днепропетровск

РАЗРАБОТКА ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ МНОГОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Рассмотрена металлическая теплозащита, представляющая собой теплозащитную систему плиточного типа, интегрируемую в общую конструкцию с помощью «U»-образных профилей. Начаты работы по разработке жаростойкого порошкового сплава на основе нихрома, способного выдерживать температуры порядка плюс 1100 °С, и внутренней волокнистой керамической теплоизоляции. Разработана технология получения прокаткой листовых заготовок из жаропрочного сплава ЮИПМ-1200, позволяющая получать листы и фольги толщиной от 20 мкм до 0,5 мм.

Ключевые слова: космический аппарат; металлическое теплозащитное покрытие; волокнистая керамическая теплоизоляция; жаростойкие сплавы; физико-механические характеристики; диффузионная сварка.

Введение

При создании современной техники для изучения космического пространства, необходимо создать многоразовые космические аппараты (КА) с надежной системой теплозащиты. Повысить надежность существующих теплозащитных покрытий возвращаемых орбитальных самолетов типа «Спейс Шаттл» и «Буря» позволит создание теплозащитной конструкции с наружным металлическим силовым элементом — так называемой металлической теплозащиты. Данная теплозащита способна обеспечить основные требования, предъявляемые к теплозащите многоразового аппарата. Трудности решения этой задачи связаны с обеспечением теплозащиты, прежде всего нижней наветренной поверхности возвращаемых аппаратов, где температура достигает до 1100 °С по всей ее

площади, что составляет порядка 43% поверхности аппарата. Для решения этой задачи необходимы новые материалы и технологии, которые позволят минимизировать массу теплозащиты и создать конструкцию, выдерживающую не менее 100 пусков в процессе эксплуатации.

Основная часть

Металлическая теплозащита представляет собой теплозащитную конструкцию (ТЗК), состоящую из наружной металлической структуры из жаростойкого сплава, теплоизолирующего слоя из волокнистой керамической теплоизоляции на основе кварцевых волокон и системы крепления к силовому набору несущей обшивки КА.

Специалистами ГП «КБ «Южное» и Институтом проблем материаловедения им. И.Н. Франце-

вича НАН Украины проводятся работы по разработке жаростойкого порошкового сплава на основе нихрома, способного выдерживать температуры порядка плюс 1100 °С, который превосходит зарубежные аналоги и отечественные промышленные сплавы с идентичным химическим составом по стойкости к окислению при термоциклировании. В качестве внутренней теплоизоляции разрабатывается волокнистая керамическая теплоизоляция.

Металлическая теплозащита из жаростойкого сплава на основе Ni-Cr представляет собой теплозащитную систему плиточного типа, интегрируемую в общую конструкцию с помощью «U»-образных профилей. Каждая плитка состоит из наружной трехслойной панели с сотовым наполнителем (рис. 1).

Для изготовления наружной трехслойной панели ТЗК изготовлены:

- заготовки жаростойкого сплава на основе Ni-Cr (рис. 2) и Nb для дальнейшей прокатки (ИПМ НАН Украины) (рис. 3),

- образцы волокнистой керамической теплоизоляции на основе кварцевых волокон (НПО «Стекловолокно», г. Буча).

Механические и теплофизические характеристики жаростойкого сплава на основе Ni-Cr приведены в таблицах 1 и 2.

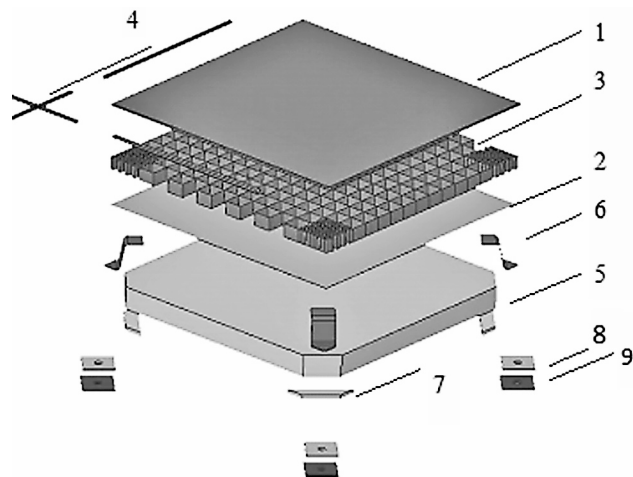


Рис. 1. Схема металлического теплозащитного покрытия:

1–3 – наружная металлическая структура, выполненная из жаростойкого сплава, состоящая из верхнего (поз. 1) и нижнего (поз. 2) листов и сотового наполнителя (поз. 3). На наружном листе выполнены «U»-образные выштамповки (поз. 4), 5 – теплоизоляция, 6 – «Z»-образные металлические стойки системы крепления, 7 – фетровая подложка, 8 – термомсты, 9 – демпфирующая прокладка из термостойкой резины

Для получения тонколистовых заготовок для изготовления сотового наполнителя и трехслойной панели разработана технология получения прокаткой листовых заготовок из жаропрочного сплава



Рис. 2. Заготовки жаростойкого сплава на основе Ni-Cr

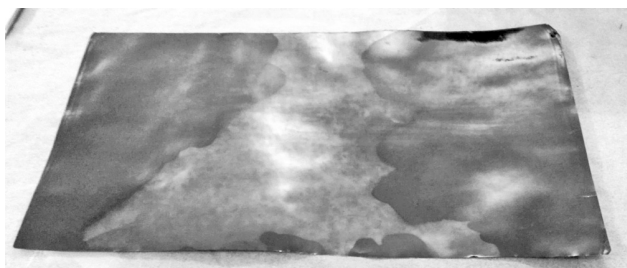


Рис. 3. Прокатанные листы фольги из жаростойкого сплава на основе Ni-Cr

Таблица 1

Механические свойства жаростойкого сплава на основе Ni-Cr

Температура испытаний, °С	Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Предел пропорциональности, МПа	Модуль упругости Е, ГПа	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение ψ , %
20	738	364	356	227	36,5	34,2
800	237	228	222	121	36,7	32,6
1100	45	40	39	20	32,8	19,0

Таблица 2

Теплофизические характеристики жаростойкого сплава на основе Ni-Cr

Температура, °С	Плотность ρ , кг/м ³	Теплопроводность λ , Вт/(м ² ·К)	Удельная теплоемкость c , кДж/(кг·°С)	Степень черноты поверхности
100	8300	10–13	0,44	0,80–0,85
900		28	0,60	

ЮИПМ-1200 на основе Ni-Cr (рис. 3). Определены оптимальная температура горячей прокатки сплава и температура промежуточных отжигов материала, которая составляет от плюс 1150 °С до плюс 1180 °С.

Разработанный маршрут прокатки позволяет получать листы и фольги толщиной от 20 мкм до 0,5 мм. Фольга с толщиной 20 мкм позволяет изготавливать более легкие сотовые заполнители по сравнению с результатами предыдущих работ, где минимальная толщина прокатки фольги была 50 мкм.

Для определения оптимальных параметров сварки жаропрочного Ni-Cr сплава была проведена серия экспериментов по получению соединений

при температурах 800, 900, 1000, 1100, 1200 °С. Давление сварки во всех случаях составляло $P = 40$ МПа, время процесса $t = 20$ минут. Сваривались образцы размером 15×15×0,05 мм. Поверхности образцов перед сваркой зачищались на наждачной бумаге до металлического блеска. Непосредственно перед сваркой поверхность образцов обезжиривалась в ацетоне.

Из полученной фольги сваривался сотовый заполнитель, а затем трехслойная панель методом диффузионной сварки со специально разработанными нанопрослойками (рис. 5).

Для снижения стоимости разработки и изготовления ТЗК проведен анализ и экспериментальная проверка возможности использования дешевой и

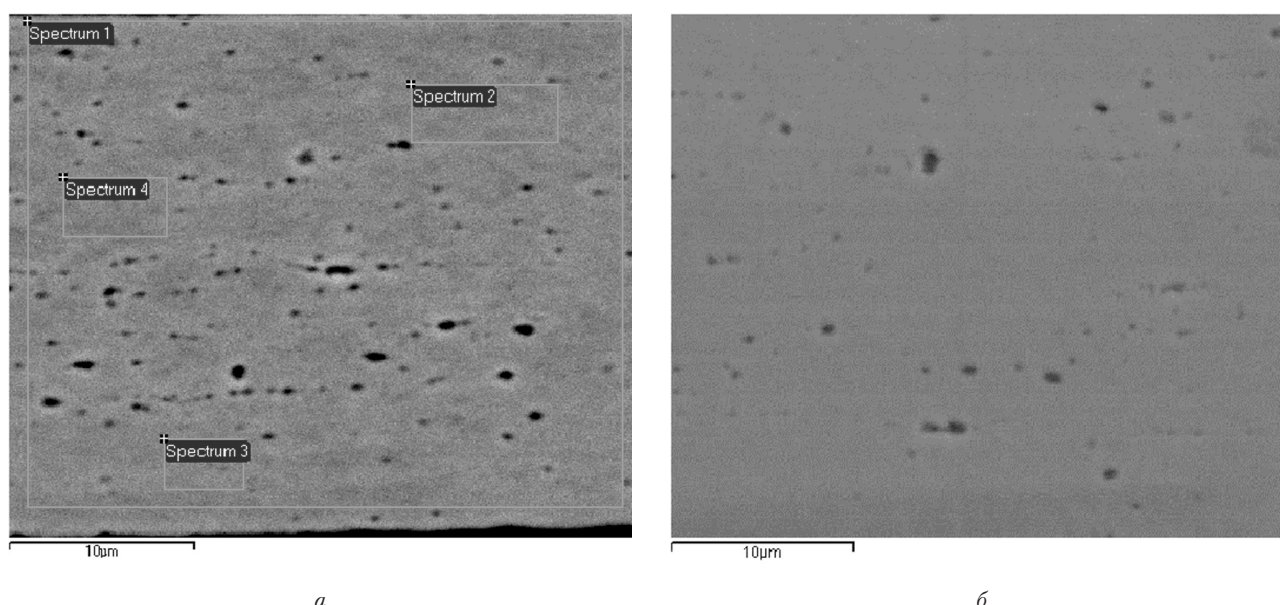


Рис. 4. Микроструктура фольги из жаропрочного Ni-Cr сплава в исходном состоянии (а) и после нагрева в вакууме (б)

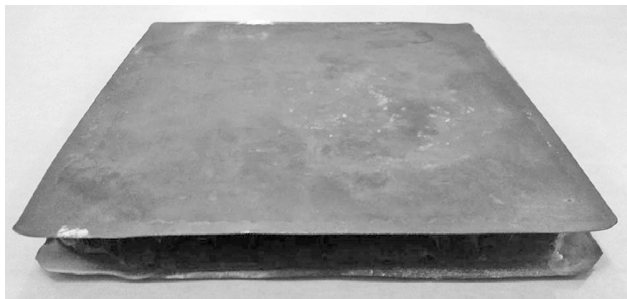


Рис. 5. Образцы трехслойных конструкций из сплава на основе Ni-Cr

легкой высокоэффективной теплоизоляции коммерческого применения для многослойной ТЗК многоразовых КА.

Ни один из исследуемых образцов не обеспечил температуру на подложке плюс 200 °С в течение заданного времени. Испытания показали, что исследованные коммерческие теплоизоляционные материалы не пригодны для использования в теплозащитных конструкциях возвращаемых КА.

Недостаточные теплоизоляционные свойства коммерческой волокнистой теплоизоляции связаны со сравнительно большим диаметром волокон и наличием в материале не волокнистых включений — «королька», коротких волокон, утолщений. Диаметр муллитокремнеземистых волокон, выпускаемых предприятиями Украины, составляет от 3 до 5 мкм. Для получения теплоизоляционного материала, отвечающего заданным требованиям, необходимы керамические волокна с меньшим диаметром волокна и содержанием «корольков», утолщений, короткого волокна, не более 1%.

Работы по отработке технологии изготовления образцов волокнистой керамической теплоизоляции проводились на основе выбора связующего и типа волокна. Для экспериментов были выбраны следующие виды связующего: этилсиликатное, алюмофосфатное, кремнезоль, жидкостекольное. В качестве волокон были выбраны кварцевые, кремнеземные и МКРР-130.

После серии опытов и анализа полученных результатов было установлено, что наиболее прочные образцы получаются с использованием связующего АФС и кремнезоль. Наименьшая миграция связующего со середины на поверхность образцов осуществляется с использованием в связующем водной дисперсии ПВА, выпускаемой промышленностью в виде клея ПВА. В случае введения порошкообразного наполнителя в состав образцов их плотность резко возрастает до 200–250 кг/м³.

После отработки технологии волокнистой керамической теплоизоляции были изготовлены образ-



Рис. 6. Образцы плиток волокнистой керамической теплоизоляции

цы плиток плотностью 100 кг/м³, которые приведены на рисунке 6.

Физико-механические характеристики волокнистой керамической теплоизоляции:

- предел прочности при сжатии — 0,038 МПа;
- предел прочности при статическом изгибе — 0,092 МПа.

Теплопроводность образцов керамической теплоизоляции равна — 0,04 Вт/м·К.

Выводы

Разработаны новые материалы и технологии, позволяющие изготовить ТЗК плотностью 10 кг/м³, состоящую из трехслойной панели из жаростойкого порошкового сплава на основе Ni-Cr и керамической волокнистой теплоизоляции.

Литература

- [1] В.В. Мартыненко и др. «Влияние типа связующего на свойства теплоизоляционных изделий «Огнеупоры» №9, 1982. — с. 39.
- [2] Ю.А. Пирогов и др. «Комплексное связующее на основе кремнегеля «Огнеупоры» №12, 1986. — с. 16.
- [3] Е.В. Важенин и др. «Структурная гомогенизация волокнистых теплоизоляционных изделий», Огнеупоры, №5, 1989. — с. 21.
- [4] В.К. Воробьев, В.А. Черняховский «Закономерности вибропрессования огнеупорных масс на фосфатных связках», Огнеупоры, №4, 1978. — с. 22.
- [5] В.В. Астамян, П.П. Геденов «Ускорение термообработки и сушки теплоизоляционных изделий на жидком стекле», Стройматериалы, №12, 1985.

Karpikova O. O., Husarova I. O., Potapov O. M.

Yuzhnoye, State-owned Design Office named after Mikhail Yangel. Ukraine, Dnepropetrovsk

DEVELOPMENT HEAT-SHIELDING MATERIALS FOR SPACECRAFT REUSABLE

We consider a metal heat shield, which is a type of tile thermal protection systems, integrated into the overall design by using «U»-shaped profile. Work has begun to develop a heat resistant alloy powder on the basis of nichrome capable of withstanding temperatures of the order of 1100 °C plus, and an inner ceramic fiber insulation. The technology of rolling of the blanks superalloy ЮИИМ-1200, allowing to obtain sheets and foil thickness from 20 microns to 0.5 mm.

Keywords: spacecraft; metal thermal barrier coating; fibrous ceramic insulation; heat-resistant alloys; physico-mechanical characteristics; diffusion welding.

References

- [1] Martynenko B. et al., «Effect of binder type on the properties of thermal insulation products «Refractories» №9, 1982. — p. 39.
- [2] Pirogov Y.A. and others. «Complex-based binder of silica gel» Refractories, №12, 1986. p. 16.
- [3] Vazhenin E.V. et al., «Structure homogenizing fibrous insulation products», Refractories, №5, 1989. — p. 21.
- [4] Vorobyov V.K., Chernyakhovsky V.A. «Laws of vibrocompression refractory masses phosphate bundles», Refractories, №4, 1978. — p. 22
- [5] Astamyan V.V., Gedeonov P.P. «Accelerating the drying heat treatment and thermal insulation products for liquid glass» Building, №12, 1985.