

УДК 620.168.3:621.039.7

Канд. техн. наук А. Ю. Андрианов, Д. А. Орлянский
 Национальный университет им. Олеса Гончара, г. Днепропетровск

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООВОГО РАСШИРЕНИЯ ЭПОКСИДНОГО КОМПОЗИТА

Приведены результаты экспериментального исследования коэффициента теплового расширения дисперсно-наполненных эпоксидных композиций, использующихся в составе металлополимерного композита для средств изоляции радиоактивных отходов. Установлены состав и содержание наполнителя в эпоксидном связующем, обеспечивающие соответствующий алюминию коэффициент теплового расширения в заданном интервале температур.

Ключевые слова: эпоксидные композиты, дисперсные наполнители, коэффициент теплового расширения.

Повышение требований к обеспечению безопасной и надежной изоляции радиоактивных отходов создает необходимость в разработке и внедрении новых контейнерных материалов. Одним из наиболее перспективных направлений в данной области следует считать использование металлополимерных композиционных материалов (МПКМ), которые сочетают в себе положительные свойства как полимеров, так и металлов. Один из вариантов МПКМ, разрабатываемый авторами совместно с сотрудниками ННЦ «ХФТИ» в рамках проекта Украинского научно-технологического центра, представляет собой сложную многокомпонентную радиационно-защитную структуру, включающую: 1) многослойный полиметаллический материал (ПМ), 2) полимерный композит (ПК) на основе эпоксидного связующего и металлического высокодисперсного наполнителя.

Одной из основных задач, возникающих в процессе разработки материала, является обеспечение надежного соединения двух компонентов МПКМ, которое достигается за счет адгезионного сцепления связующего ПК с поверхностью полиметаллического материала. Задача усложняется ввиду невысокой физической совместимости компонентов, которая заключается в высокой степени различия их коэффициентов теплового расширения (КТР). В разных источниках приводятся различные значения КТР для отвержденной эпоксидной смолы $115 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ [1], $45\text{-}65 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ [2], $10\text{-}20 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ [3]. Наибольшее из указанных зна-

чений отличается на порядок от КТР металлов, потенциально выступающих в качестве субстрата адгезионного соединения (см. табл. 1).

Следует отметить, что различия в значениях КТР могут быть вызваны как разным химическим составом анализируемых смол, так и использованием различных методик измерения КТР. Снижение КТР в значительной степени достигается за счет использования в составе полимерного композита высокодисперсного наполнителя. Целью данной работы является определение состава наполнителя, позволяющего обеспечить такие значения КТР, которые были бы наиболее близкими для одного из элементов, входящих в состав ПМ. Технология изготовления ПМ, основанная на вакуумной прокатке или осаждении металлов из плазмы, позволяет использовать в качестве первого слоя практически любой металл. Это позволяет получить соединение компонентов МПКМ по поверхностям, разнородных с точки зрения химического состава и физической природы, но с одинаковыми теплофизическими свойствами, что важно для эксплуатации материала в условиях знакопеременной температуры.

Наполнитель эпоксидного КМ представляет собой порошковую смесь, состоящую из двух компонентов. Первый компонент, в качестве которого использовался порошок вольфрама, обеспечивает в составе КМ высокую степень ослабления гамма-излучения. Второй компонент, широко представленный рядом минеральных и неорганических порошков, которые, кроме

Таблица 1 – Тепловые коэффициенты расширения ряда металлов

Металл	Ti	V	Zr	Mo	Ta	W
Температурный интервал, К	293–473	273–373	293–473	273–373	293–373	273
КТР, $\times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	8,1	8,3	5,4	5,19	6,6	4,3

обеспечения необходимых теплофизических свойств материала, создают условия для равномерного распределения частиц вольфрама в объеме КМ, исключая их седиментацию и коагуляцию, что важно с точки зрения обеспечения радиационной защиты. В качестве второго компонента рассматривались строительные порошки мела, талька, силиката, каолина и железного сурика.

Для определения влияния степени наполнения полимерного композита на основе фирменной эпоксидной смолы по ТУ У 23981176.015-2008 вышеприведенными составами порошков были изготовлены образцы длиной 100 мм и диаметром 5 мм. Измерение проводилось в установке на основе микрометра с точностью 0,001 мкм для двух диапазонов температур, характеризующих условия эксплуатации контейнеров. Выбор двух диапазонов связан также со значительным влиянием температуры на КТР, что, возможно, является одной из основных причин значительного различия в приведенных выше данных для эпоксидной смолы. Первый температурный диапазон 253–298 К (от -20 °С до +25 °С) имитировал зимние условия, второй диапазон 298–373 К (от +25 °С до +100 °С) – летние условия с учетом разогрева материала за счет радиоактивного распада высокоактивных отходов. Температура образца измерялась медно-константановой термопарой с точностью измерения 0,5 К.

При объемном содержании наполнителя в связующем 32 % наименьшими значениями КТР (около $30 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) в диапазоне низких температур обладают образцы на основе железного сурика и каолина. В диапазоне высоких температур наименьшие значения КТР в пределах $80 \cdot 10^{-6} - 90 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ характерны для образцов с тальком и железным суриком (рис. 1).

Полученные значения близки к эпоксидным смолам, наполненным минеральными наполнителями $20 \cdot 10^{-6} - 50 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ [4]. Следует также отметить, что наименьшие значения КТР для выбранного диапазона температур проявляют образцы с наполнителем, включающим в качестве второго компонента железный сурик. Однако выбранное объемное содержание наполнителя не позволяет приблизиться к значениям КТР, характерным для металлов даже с высокой склонностью к тепловому расширению, например такими как алюминий, медь, железо и др.

Дальнейшие измерения проводили на образцах, содержащих повышенное содержание наполнителя до 48 %. Большие значения наполнителя ухудшают технологические свойства эпоксидной композиции, что значительно усложняет процессы формирования полимерной составляющей МПКМ таким производственным методом, как распыление.

Полученные данные КТР (рис. 2–3) в двух температурных диапазонах для образцов, включающих наполнитель из вольфрама (75 % объемного содержания в наполнителе) и железного сурика, а также наполнителя только из железного сурика, позволили подтвердить закономерное уменьшение КТР при увеличении содержания наполнителя. Причем наибольшее влияние из двух наполнителей на уменьшение значений КТР эпоксидной композиции оказывает вольфрам, что видно из следующего графика (рис. 4–5).

Согласно полученным результатам, значения КТР наполненной эпоксидной композиции можно приблизить к значениям КТР для алюминия $20 \cdot 10^{-6} - 24 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ при объемном содержании наполнителя не менее 48 %. При дополнительном однослойном армировании эпоксидной композиции гидроизоляционной стеклотканью

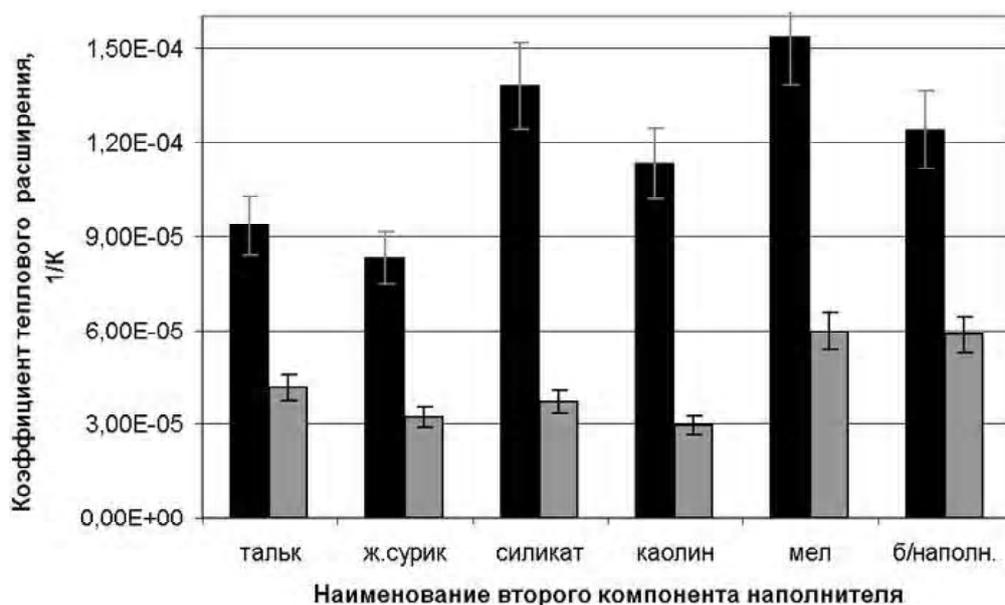


Рис. 1. Зависимость КТР от состава наполнителя при его содержании в связующем 32 %: первый столбец – диапазон температур 298–373 К; второй столбец – диапазон температур 253–298 К

эти значения можно достичь и при более низком содержании наполнителя. Для достижения указанных выше значений ненаполненной эпоксидной композиции путем армирования стеклотканью содержание последней должно составлять 25–27 %. Содержание стеклоткани в ненаполненной композиции в пределах 45–50 % позволяет достичь КТР характерного для железа (стали), а в пределах 30–32 % – для меди.

Открытой остается задача по обеспечению соот-

ветствия КТР эпоксидной композиции и рассматриваемых металлов в широком интервале температур. В связи с этим целесообразным является рассмотрение использования модифицированных эпоксидных связующих или принципиально других связующих, таких например, как углепластик. Известно, что стеклоугле-пластики характеризуются неизменным значением КТР около $20 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ в широком диапазоне температур 173–423 К.

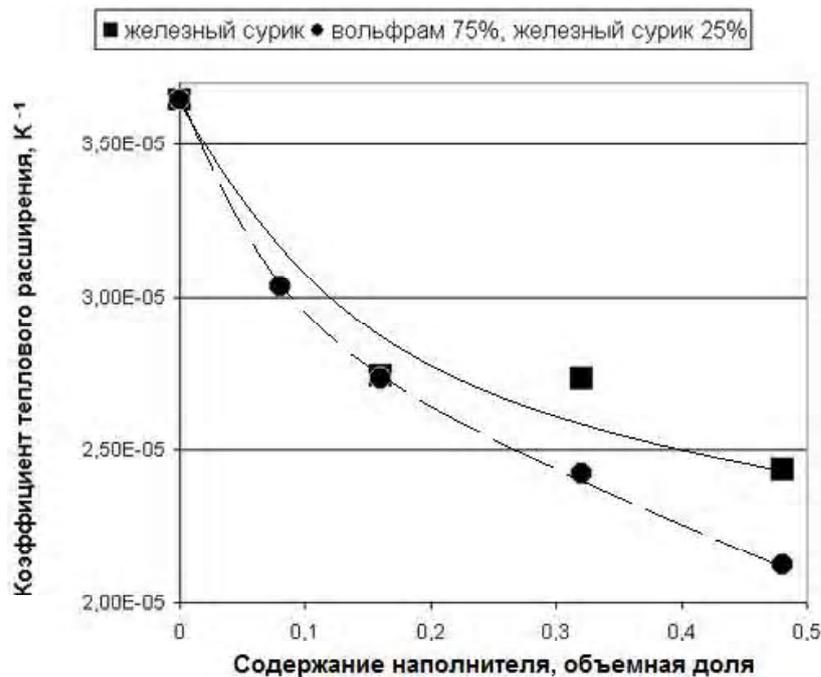


Рис. 2. Зависимость КТР от содержания наполнителя двух составов в диапазоне температур 253–298 К

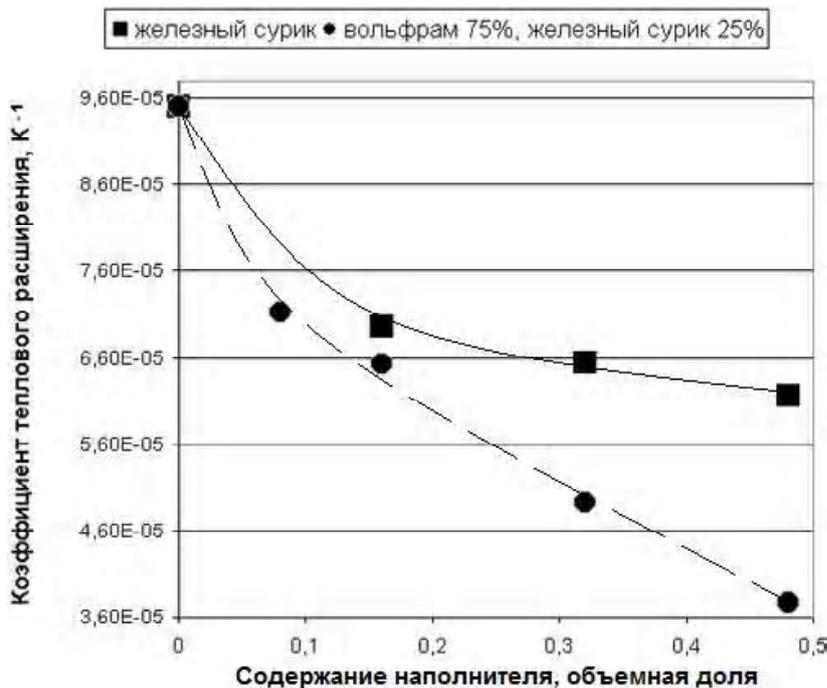


Рис. 3. Зависимость КТР от содержания наполнителя двух составов в диапазоне температур 298 –373 К

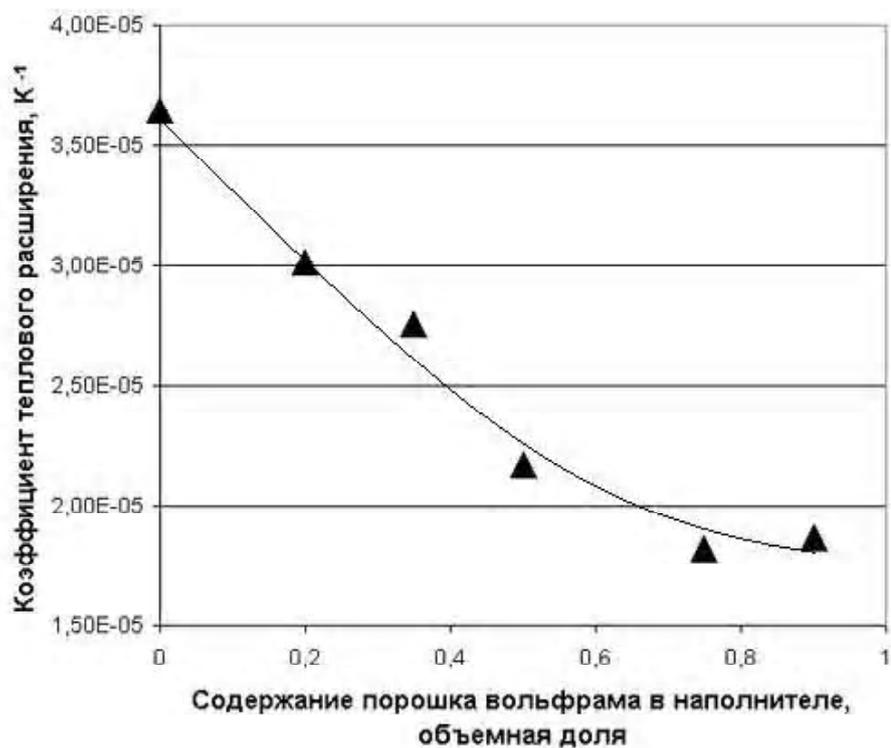


Рис. 4. Зависимости КТР от состава наполнителя при его общем содержании в связующем 48 % в диапазоне температур 253 –298 К

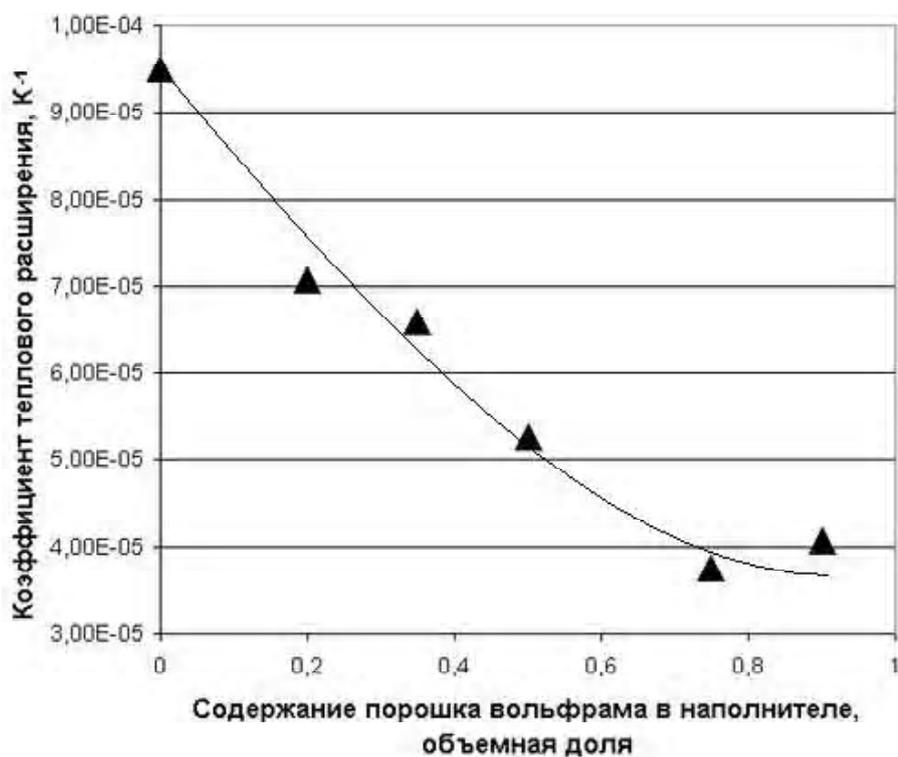


Рис. 5. Зависимости КТР от состава наполнителя при его общем содержании в связующем 48 % в диапазоне температур 298–373 К

Полученные результаты были использованы в процессе изготовления многослойного ПК, армированного гидроизоляционной стеклотканью, а также при соеди-

нении его с ПМ с целью получения опытного образца металлополимерного композита.

Перечень ссылок

1. Таблицы физических величин : справочник / [под ред. акад. И. К. Кикоина]. – М. : Атомиздат, 1976. – 1008 с.
2. Энциклопедия полимеров / [ред. коллегия В. А. Кабанов и др.]. – М. : Советская Энциклопедия, 1977. – Т. 3. – 1152 с.
3. Армированные пластики – современные конструкционные материалы / [Зеленский Э. С., Куперман А. М., Горбаткина Ю. А. и др.] // Российский химический журнал. – 2001. – т. XLV. – № 2. – С. 56–74.
4. Д. Пол Полимерные смеси / Д. Пол, К. Бакнелл. – М. : Изд-во НОТ, 2009. – 1224 с.

Одержано 27.05.2010

A.Yu. Andrianov, D. O. Orlyanskiy

INFLUENCE OF DISPERSED FILLERS ON EPOXY COMPOSITES THERMAL-EXPANSION COEFFICIENT

Наведені результати експериментального дослідження коефіцієнта теплового розширення дисперсно-наповнених епоксидних композицій, що використовуються в складі металополімерного композиту для засобів ізоляції радіоактивних відходів. Визначено склад та вміст наповнювача в епоксидному зв'язувальному, що забезпечують відповідний алюмінію коефіцієнт теплового розширення в заданому діапазоні температур.

Ключові слова: епоксидні композити, дисперсні наповнювачі, коефіцієнт теплового розширення.

The results of thermal-expansion coefficient experimental research are presented for filled with dispersed powders epoxy pitches, which are used in metal-polymeric composites of radioactive waste containers. Contents of powders providing equality of filled epoxy pitch and aluminium thermal-expansion coefficients are determined.

Key words: epoxy composites, dispersed filler, thermal-expansion coefficient.

УДК 669.018

Д-р техн. наук В. Г. Мищенко¹, канд. техн. наук И. Н. Лазечный², В. Ю. Лякишев¹

¹ Национальный университет, ² Национальный технический университет; г. Запорожье

ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫЕ ЖАРСТОЙКИЕ СТАЛИ ДЛЯ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

Исследовано влияние химического состава и технологии металлургического передела на структуру и механические свойства жаростойких сталей 03X23Ю5Т и 03X22Ю5ФБч. Установлены причины пониженной технологической пластичности проволоки и неудовлетворительной долговечности нагревателей из этих сталей. Разработаны и опробованы мероприятия по устранению этих недостатков.

Ключевые слова: термические печи, нагреватели, долговечность, жаростойкость, технологичность, нихром, фехраль.

В решении задач повышения эффективности работы термического оборудования, в частности печей и печей – ванн, важную роль отводят теплогенерирующим узлам. В электрических нагревательных устройствах таковыми являются нагреватели открытого типа или расположенные в закрытых радиационных трубах. При сопоставлении различных металлических материалов для нагревателей чаще всего рассматривают две группы свойств:

- технологические – пластичность при производстве заготовок и нагревателей, свариваемость, ремонтпригодность и др.

- функциональные – окалиностойкость, зависимость удельного электросопротивления от изменения температуры, устойчивость к росту зерен, показатели предела ползучести при температурах эксплуатации, стойкость к воздействию компонентов технологических сред и т. п.

В зависимости от химического состава металлические материалы для нагревателей можно разделить на группы:

- сплавы на железоникелевой основе – ХН35, Х25Н20;

- сплавы на основе никеля – Х20Н80Н, Х15Н60Н,