

ЖИДКОКЕРАМИЧЕСКИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ — НОВОЕ СЛОВО В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

Вахитова Л. Н.

Старший научный сотрудник
ИнФОРУ НАН Украины

Завертаный А. А.

Инженер
НПП «Спецматериалы»,
г. Донецк

Проблема энергосбережения в последние годы является одной из главных для всех развитых экономик. Поэтому поиск новых технологических решений и подходов, направленных на уменьшение теплопотерь всех без исключения производств, предприятий жилищно-коммунального хозяйства, объектов гражданского строительства, является задачей повышенной актуальности. В этой связи как одно из революционных решений теплосбережения можно рассматривать жидкокерамические покрытия (ЖКП), которые при толщине 2-3 мм обеспечивают такой же теплоизоляционный эффект, как слой минеральной ваты толщиной 50 мм.

Немного теории

ЖКП — это композиционный материал, состоящий из полых стеклянных или керамических микросфер и полимерного связующего. Полые микросферы представляют собой мелкодисперсные, легкосыпучие порошки, состоящие из тонкостенных (0,25—10 мкм) алюмосиликатных, натрийкалийборосиликатных частиц сферической формы диаметром 10—500 мкм и насыпной плотностью до 0,2 г/см³. Микросферы могут быть вакуумированными или наполненными разреженным воздухом (в зависимости от условий их производства) и, благодаря удачному сочетанию сферической формы, контролируемых размеров, низкой плотности, относительно высокой прочности на всестороннее сжатие, хорошим тепло-, звукоизоляционным и диэлектрическим свойствам, являются одним из перспективнейших техногенных наполнителей полимерных материалов.

Вышеперечисленные свойства микросфер обуславливают основное преимущество и уникальность ЖКП — их теплоизоляционные свойства. Производители, продавцы и специалисты-теплотехники объясняют высокие теплоизоляционные характеристики покрытий на основе микросфер сочетанием двух основных факторов. Во-первых, наличие в ЖКП большого количества (в некоторых случаях до 90 %) вакуумированных или наполненных разреженным воздухом микросфер позволяет получать материал с крайне низкой теплопроводностью (до 0,001 Вт/м·°С). Во-вторых, принято считать, что слои с микросферами имеют низкую излучательную способность и поэтому эффективно (до 85 %) подавляют

радиационную составляющую теплового потока.

Существует еще и третий, пожалуй, решающий фактор в пользу выбора тонкослойных теплоизоляционных покрытий, связанный с историей вопроса. Все рекламные материалы, а в ряде случаев и техническая документация по ЖКП, содержат обязательную фразу, которая в разных вариациях звучит приблизительно так: «Покрытия с микросферами — это продукт научных, военных и космических технологий специалистов NASA, рассекреченный 15 лет назад в рамках программы «Обмен для общественного использования». И, для неоспоримой убедительности, завершающий аккорд: «Корпус космического корабля «Шатл» и других космических аппаратов успешно противостоит тепловым нагрузкам, во многом благодаря технологии использования в своих защитных покрытиях керамических микросфер».

Еще меньше практики

Естественно, после таких серьезных рекомендаций ЖКП было обеспечено триумфальное шествие по всему миру. Однако, к нашему большому удивлению, рынок теплоизоляционных ЖКП в Украине оказался более чем скромным: покрытия отечественного производства «Керамизол» (фирма «Инкор+», г. Северодонецк) и «Термодон» (НПП «Спецматериалы», г. Донецк), а также небольшой ассортимент импортных покрытий — «Термо-Шилд», «Termal Trust», «Изолат» и некоторых других.

В то же время в России начиная с 2001 года выпускается более чем 50 наименований ЖКП, которые активно используют

ся в качестве теплоизоляционного материала для покрытия трубопроводов пара, горячей воды, водонагревательного оборудования котельных, нефте- и бензохранилищ, для покрытия наружных ограждающих конструкций жилых, общественных и промышленных зданий.

Необъяснимо, но факт?

Особенно покрытия с микросферами зарекомендовали себя в теплоэнергетике. Масштабность применения ЖКП в этой отрасли обусловлена, прежде всего, задекларированными производителем показателями коэффициента теплопроводности — величины, численно равной количеству теплоты, проходящей через материал толщиной 1 м и площадью 1 м² за час при разности температур на двух противоположных поверхностях в 1°С (°К).

В табл. 1 представлена сравнительная характеристика теплопроводности некоторых ЖКП (№ 8—13) и известных строительных теплоизолирующих материалов. Даже самый непритязательный читатель обратит внимание на явные несоответствия в данной таблице. С одной стороны, не понятно, как покрытие с коэффициентом теплопроводности 0,27 Вт/м.°С (№ 7) при толщине слоя в 2 мм может по теплоизоляции конкурировать с минеральной ватой ($\lambda = 0,045$ Вт/м.°С, № 3) толщиной в 50 мм. С другой стороны, как комбинация стеклянных микросфер, воздуха, полимерного связующего в ЖКП может приводить к аддитивному коэффициенту теплопроводности 0,001 Вт/м.°С (№ 11, 12), который в сотни раз меньше составляющих покрытия (№ 2, 5, 6)? Некоторым оправданием уникальных теплоизоляционных свойств ЖКП может служить гипотеза, что микросферы в своих полостях не содержат ничего кроме вакуума. Однако это тема другой публикации, которая должна быть посвящена соотношению усилий на промышленное производство действительно вакуумированных микросфер и ценовой политики производителей ЖКП. Не

зря в России микросферы на протяжении последних лет называют ценосферами, и они представляют собой либо продукты высокотемпературного обжига стеклянной пыли, либо легкую фракцию зол уноса тепловых электростанций.

Ответы на ряд вопросов заключены, в конечном итоге, в пространственной структуре покрытия, наполненного большим количеством микросфер разного диаметра. После нанесения краски в процессе сушки происходит регулируемое формирование слоя покрытия. Если посмотреть на срез покрытия под микроскопом, то видно, что находящиеся в полимере во взвешенном состоянии полые микросферы создают кластерные образования, располагающиеся между тончайшими слоями полимера, насыщенного воздушными прослойками. Причем в силу низкой плотности микросфер наблюдается неравномерность их распределения по толщине покрытия, внешний слой которого представляет собой плотную упаковку кластеров с выступающими сферическими поверхностями. Сформированный таким образом поверхностный слой покрытия значительно уменьшает мощность радиационного потока, что влияет на величину теплопередачи в целом и соответственно приводит к неправильному определению теплопроводности материала по стандартам, предусмотренным для обычных теплоизоляционных материалов.

Поэтому в открытой печати появляется все большее количество критических публикаций, подвергающих сомнению озвученные производителем теплоизоляционные характеристики, а следовательно и целесообразность применения ЖКП в качестве эффективных теплоизоляторов энергосистем, тепловых трасс, утеплителей строительных конструкций. С мнением скептиков нельзя не согласиться, поскольку главной проблемой в обсуждаемой сфере не только в России, но и во всем мире является отсутствие единой и достоверной методики определения теплофизических свойств сверхтонких энергосберегающих покрытий нового поколения. Нет ГОСТов или стандартов ASTM, позволяющих получать количественные и воспроизводимые в лабораторных условиях характеристики теплопроводности тонких изоляционных покрытий различных типов с учетом толщины покрытия, температурного режима, давления и других условий испытаний.

Расчетный метод определения теплопроводности ЖКП, основанный на установлении термическо-

го сопротивления покрытия, также не является корректным, поскольку механизм теплопередачи ЖКП отличается от механизма теплопередачи однородных теплоизоляционных материалов. Неоднократно было показано, что коэффициент теплопроводности покрытия находится в сильной зависимости от абсолютной температуры поверхности и разности температур поверхности и окружающей среды, то есть представляет собой сложную комбинацию радиационного, кондуктивного и конвективного теплообменов. И хотя множественными экспериментами было установлено, что основной вклад в теплоотдачу вносит излучение, а теплопотери за счет теплопроводности и конвекции пренебрежительно малы, для получения адекватных теплофизических характеристик материалов на основе микросфер необходимы четкие и корректные методики испытаний.

Необъяснимые факты — информация к размышлению

Однако существует ряд косвенных доказательств, подтверждающих теплоизолирующие свойства ЖКП. Это классический опыт с металлической кружкой, на одну половину которой нанесено покрытие. При наличии кипятка в этой кружке человек свободно держит ладонь с окрашенной стороны и обжигается при прикосновении к кружке с неокрашенной стороны. Однако такие «фокусы» однозначно не могут быть основанием для рекомендации применения ЖКП как теплоизоляционного материала в промышленных масштабах. Поэтому в ожидании строгих теорий механизмов теплопередачи и поиска унифицированных методик испытаний тонких изоляционных слоев, содержащих микросферы, многие разработчики и производители таких материалов прибегают к натурным сравнительным испытаниям.

Интересные данные по исследованию уровня теплопроводности ЖКП были получены специалистами НПП «Спецматериалы». Суть эксперимента заключалась в измерении температур поверхности теплоизолирующего слоя и окружающей среды на установке, изображенной на рисунке.

Для сравнительной оценки теплопроводности теплоизоляционного покрытия поступали следующим образом. Через трубу 1, предварительно обработанную теплоизоляционным покрытием и помещенную в изолированную камеру 4, обеспечивали с помощью термостата постоянную циркуляцию воды определенной температуры T_1 . Через 1 час измеряли температуру на поверхности теплоизоляционного покрытия (T_2) и в объеме камеры (T_3). В качестве

Таблица 1. Значения коэффициентов теплопроводности λ различных материалов

№ п/п	Материал	λ , Вт/м.°С	Метод определения
1	Вакуум	0	
2	Воздух	0,024—0,031	
3	Минвата	0,045	
4	Пенобетон	0,14—0,30	
5	Стекло	1	
6	Полимер	0,2—0,3	
7	Пеноизол	0,035	
8	Термо-Шилд	0,27	DIN 52616
9	Арктик Код	0,13—0,15	Стандарт ASTM C-177
10	Изоллат	0,002—0,007	Расчетный метод
11	Termal-Coat	0,001	Расчетный метод
12	TSM Ceramic	0,001—0,003	ГОСТ 7076-87
13	Термодон	0,01—0,02	ГОСТ 7076-87

