

КИСЕЛЕВ Н. Н., ДОЛГОВ И. П., АХМЕДОВ С. И.
НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОБОЛОЧЕК
ВАКУУМИРОВАННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПАНЕЛЕЙ

Аннотация. Проведен анализ оболочек вакуумных теплоизоляционных панелей. Указаны преимущества и недостатки упаковочных материалов, применяемых для вакуумной теплоизоляции. Рассмотрены преимущества вакуумированных теплоизоляционных панелей и их использование.

Ключевые слова: теплопроводность, микрокремнезем, вакуумированная плита, наполнитель, оболочка, конструкция, панель, теплоизоляционный материал.

KISELEV N. N., DOLGOV I. P., AKHMEDOV S. I.
NEW MATERIALS FOR SHELLS OF VACUUM INSULATION PANELS

Abstract. The article presents an analysis of the shells of vacuum insulating panels. The advantages and disadvantages of packaging materials used for vacuum insulation are studied. The advantages of vacuum insulation panels and their use are considered.

Keywords: thermal conductivity, microsilica, vacuum plate, filler, shell, structure, panel, insulating material.

Вакуумированные теплоизоляционные материалы являются современным и эффективным видом теплоизоляции. Данная технология основывается на том, что вакуум, создающийся в оболочке теплоизоляционного элемента, позволяет существенно снизить теплопроводность материала. Использование подобных материалов заметно снижает пространство, занимаемое утеплителем, что дает увеличить полезную площадь помещения и возможность устраивать теплоизоляцию в ограниченном для утеплителя пространстве.

Долгое время главной проблемой вакуумной теплоизоляции была сложность обеспечения сохранности вакуума на длительный период и, как следствие, малый срок службы изделий. Это значительно ограничивало область применения данного вида теплоизоляции. С развитием упаковочной промышленности эта проблема стала вполне решаемой. Получение новых материалов с высокими барьерными свойствами и усовершенствование технологий в сфере высокого вакуума сделало возможным широкое использование вакуумных изоляционных панелей (ВИП) в машиностроении, криогенной технике, строительстве, оборонной промышленности [1–4].

К оболочке вакуумной теплоизоляции предъявляются высокие требования. Она должна обладать исключительными барьерными свойствами, высокой механической прочностью, УФ стабильностью, способностью к свариванию. Такое разнообразие

необходимых свойств делает невозможным применение однослойных упаковочных материалов. Более подходящими для производства оболочек вакуумной теплоизоляции являются многослойные материалы.

В настоящее время выпускается большое количество высокобарьерных упаковочных материалов. Главным недостатком таких пленок является чрезвычайно высокая цена, поскольку для обеспечения нужных характеристик требуется относительно толстые слои или несколько дорогостоящих барьерных слоев. Кроме того, механические свойства не всегда могут отвечать эксплуатационным требованиям. Более современной и экономичной технологией в упаковочной промышленности являются пленки с высокой поверхностной энергией для последующего нанесения органических, керамических или металлических барьерных покрытий. В данном случае высокую поверхностную активность обеспечивает верхний тонкий слой этиленвинилового спирта (EVOH) или полиамида (РА). Подобные материалы с успехом могут заменить более дорогую алюминиевую фольгу в качестве барьерного материала. Сравнение широко применяемых полимерных пленок приведено в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение барьерных характеристик полимерных пленок

Материал	Коэффициент паропроницаемости (г/м ² за 24 часа при 90% относительной влажности и температуре 38°С)	Коэффициент пропускания по кислороду ($\frac{\text{см}^3}{\text{м}^2}$ за 24 часа при температуре 23°С)
PE-LD	15-20	3000-13000
PE-HD	3-12	500-3000
PP ориентированный	5	2400
PP неориентированный	8-10	1000-6000
PVDC	1-5	1-3
EVOH	15-50	0,2-2,5
РА	150	30-100
PET	15-30	50-150
Полистирол	120	2500-7700

Многослойные полимерные пленки в последнее время заняли ведущие позиции в современной упаковочной промышленности. Используя несколько слоев разных полимеров (PP, PE, PA, PET и др.), можно сочетать механические характеристики одного материала и барьерные другого для получения необходимого результата. Многослойная пленка обычно включает в себя структурные и барьерные слои, которые скрепляются между собой при помощи клея, термической сварки, методом соэкструзии. Для производства оболочек ВИП панелей разумно использовать материалы, состоящие из трех и более слоев, так как к каждому слою предъявляются особые требования [5].

Наружный слой должен обеспечивать высокую механическую прочность, обладать УФ стабильностью, а также иметь температуру плавления выше, чем у сварного слоя. Под это описание попадает полиэтилентерефталат (ПЭТФ или лавсан). Его прочность превосходит показатель полиэтилена в три раза. Лавсан обладает хорошей устойчивостью к истиранию и многократным деформациям при растяжении и изгибе, низкой гигроскопичностью. Рабочая температура от -60 до 170 °С, размягчение начинается при достижении 245 °С. ПЭТФ невосприимчив к действию растворов кислот (например, 70%-ной H₂SO₄, 5%-ной HCl, 30%-ной CH₃COOH, холодных растворов щелочей).

Средний слой отвечает за обеспечение барьерных свойств. Традиционно применяемые в упаковочной промышленности и при производстве труб из сшитого полиэтилена полимерные барьерные слои EVOH, PVDC обладают недостаточно высокими характеристиками. По этой причине применяются металлическая фольга и металлизированные пленки. Первые обладают лучшими барьерными свойствами, так как механизм диффузии через их толщину возможен только через микро- и макродефекты в структуре. Наиболее распространены оболочки со средним слоем из алюминия и нержавеющей стали. С целью придания особо высоких характеристик возможна комбинация нескольких слоев барьерного материала. На рисунке 1 представлена фотография среза подобной оболочки. В качестве барьерного материала выступают три слоя алюминиевой фольги. Слой 1 выполняет защитную функцию и служит основой для алюминиевой фольги; слои 5, 8 – основа под барьерные слои; слой 10 необходим для создания сварного шва.

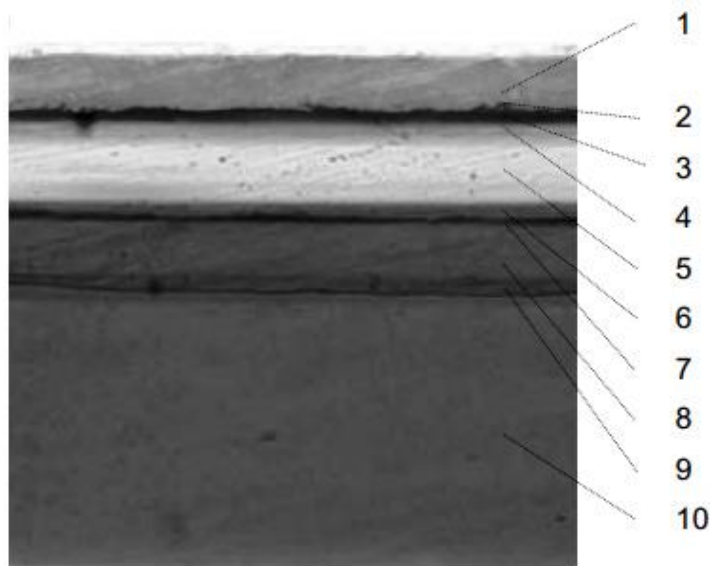


Рис. 1. Фотография среза материала оболочки вакуумной теплоизоляционной панели:
1, 8 – ПЭТ 12 мкм; 2, 4, 7 – алюминиевая фольга 30 нм;
3, 6, 9 – полиуретановый клей 2 мкм; 5 – РР 18 мкм; 10 – РЕ-LD 60 мкм.

Металлическая фольга имеет высокий коэффициент теплопроводности, что вызывает появление мостиков холода по периметру панели. Для снижения действия этого эффекта целесообразно заменять алюминиевую фольгу несколькими слоями ламинированных лавсановых пленок (PETmet). Однако следует учитывать то, что материалы оболочек, произведенных с использованием алюминиевой фольги, имеют более высокую стабильность барьерных характеристик во времени [5].

Стоит отметить, что алюминиевые фольги, продублированные с двух сторон полимерными пленками, производятся в России с 1960-х годов. На сегодняшний день для нужд промышленности выпускается множество видов и типоразмеров алюминиевой фольги, ламинированных другими материалами, в том числе полимерными пленками.

Внутренний слой необходим для сварки многослойной конструкции оболочки. Применяемая в данном случае технология широко распространена в пищевой упаковочной промышленности. В качестве наплавляемого слоя используется полиэтилен (PE). Сварка пакетов производится в вакуумном упаковщике сразу после откачки воздуха при помощи планок с тефлоновым покрытием, которые прижимаются к месту спайки и нагреваются до температуры плавления присадочного материала. Для удобства при производстве упаковочного материала и раскройке по заданным размерам разумно наносить присадочный материал на всю площадь оболочки или использовать внутренний слой с низкой температурой плавления и хорошей свариваемостью. Также нужно учитывать, что для обеспечения требуемых барьерных характеристик сварного шва, он должен иметь минимальную толщину и протяженность, но максимально возможную ширину.

Таблица 2

Сравнение барьерных характеристик материалов оболочек

№	Конструкция материала оболочки	Коэффициент пропускания по кислороду ($\frac{\text{см}^3}{\text{м}^2}$ за 24 часа при температуре 23°C)	Коэффициент паропроницаемости (г/м ² за 24 часа при 90% относительной влажности и температуре 38°C)
1	12 мкм PETmet / 18 мкм PPmet / 60 мкм PE-LD	0,05	0,025
2	12 мкм PETmet / 12 мкм PETmet / 12 мкм PETmet / 50 мкм PE-LD	0,0005	0,0025
3	12 мкм PET / 8 мкм Al / 100 мкм PE-LD	0,0005	0,005
4	20 мкм PETmet / 20 мкм PETmet / 25 мкм PE	0,00062	0,005
5	20 мкм PPmet / 12 мкм PETmet / 50 мкм PE	0,07	0,1

В данный момент на рынке уже существуют предложения материалов с высокими барьерными свойствами для применения в качестве оболочки ВИП панелей. Как видно из таблицы 2, наиболее подходящими характеристиками обладают оболочки, состоящие из двух-трех слоев металлизированного полиэтилена и оболочки барьерным слоем из алюминиевой фольги. В качестве внутреннего слоя во всех случаях применяется полиэтилен. Защитную функцию выполняет либо обычный, либо металлизированный лавсан.

Согласно рекомендациям, приведенным в [5; 6], для производства оболочек ВИП панелей необходимо применять пленки с коэффициентом пропускания по кислороду не выше $2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^3 / (\text{м}^2 \text{ сутки бар})$ и коэффициентом паропроницаемости не выше $10^{-4} \text{ г} / (\text{м}^2 \text{ сутки})$ [7]. При соблюдении этого условия, а также учитывая требования, что панели будут иметь площадь не менее $0,5 \text{ м}^2$ при толщине 2 см, можно обеспечить срок службы изделия от 25 лет и более. Для применения в строительной отрасли долговечность вакуумированных панелей должна быть сопоставима со сроком службы несущей конструкции. На практике этого добиться сложно, однако учитывая ремонтпригодность вакуумной теплоизоляции, а также ее исключительные теплотехнические характеристики ее можно рекомендовать к применению в конструкциях, обеспечивающих легкодоступность замены в случае отказа изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 98021 РФ МПКЗ Е 04 С 2/02. Теплоизоляционная панель / Селяев В. П., Травуш В. И., Осипов А. К., Селяев П. В., Гладышев А. С.; патентообладатель Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева». – № 2010117836/03; заявл. 04.05.10; опубл. 27.09.10, Бюл. № 30.
2. Селяев В. П., Куприяшкина Л. И., Неверов В. А., Селяев П. В., Окин М. А. Прогнозирование теплопроводности наполнителей вакуумных изоляционных панелей // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. – № 4. – С.30–37.
3. Селяев В. П., Неверов В. А., Куприяшкина Л. И., Маштаев О. Г. Природные и искусственные микрокремнеземы в качестве наполнителей вакуумных изоляционных панелей // Строительные материалы. – 2014. – № 9. – С. 1–7.
4. Селяев В. П., Куприяшкина Л. И., Неверов В. А. Прогнозирование теплопроводности и оценка структурных характеристик зернистых систем для создания теплоизоляционных материалов нового поколения // Academia. Архитектура и строительство. – 2014. – № 1. – С. 89–94.

5. Heinemann U., Caps R., Fricke J. Characterization and optimization of filler materials for vacuum super insulations // *Vuoto scienza e tecnologia*. 1999. – Vol. 18. – №. 1-2. – pp. 43–46.
6. Caps R., Hetfleisch J., Rettelbach Th., Fricke J. Thermal Conductivity of Spun Glass Fibers as Filler Material for Vacuum Insulations // *Thermal Conductivity*. – 1996. – Vol. 23. – pp. 373–382.
7. Васильев Л. Л. Теплопроводность неметаллических зернистых систем // *Строительная теплофизика*. – М.; Л.: Энергия, 1966. – С. 48–56.