

Скупой платит дважды
или
не все, что блестит, является отражающей изоляцией.
(фольга или металлизированная пленка?)

к.т.н. А.Н. Батраков, И.А. Амплеева

В последнее время все больше возникает вопросов, что применять в отражающей изоляции полированную фольгу или металлизированную пленку. В этой статье мы подробно рассмотрим различия, казалось бы, таких похожих на вид материалов.

Основным различием является толщина алюминиевого слоя.

Толщина фольги из полированного алюминия у различных производителей колеблется от 10 мкм до 100 мкм. В этом диапазоне толщин разницы в эффективности теплоотражения не наблюдается.

Для металлизированных пленок складывается не столь однозначная ситуация, так как толщина напыленного слоя алюминия на пленку колеблется от долей микрометра до нескольких микрометров.

Материалы с толщиной напыления $< 0,3$ мкм совсем не являются отражающей изоляцией. Данное утверждение связано с понятием скин-слоя (рисунок 1) - расстояния от поверхности проводника, на котором плотность излучения убывает в e раз (т.е. имеет значение 37% от максимальной). Так скин-слой в алюминии для теплового излучения составляет примерно 500 Å. И чтобы эффективно отразить тепловой поток толщина фольги должна быть не менее 3 толщин скин-слоя. Если же толщина окажется недостаточной, то излучение просто пройдет сквозь это препятствие. Данный эффект можно наблюдать на просвет, если сквозь пленку проходит видимый свет, то проходит и тепловое излучение (инфракрасное излучение имеет большую пробивную способность).

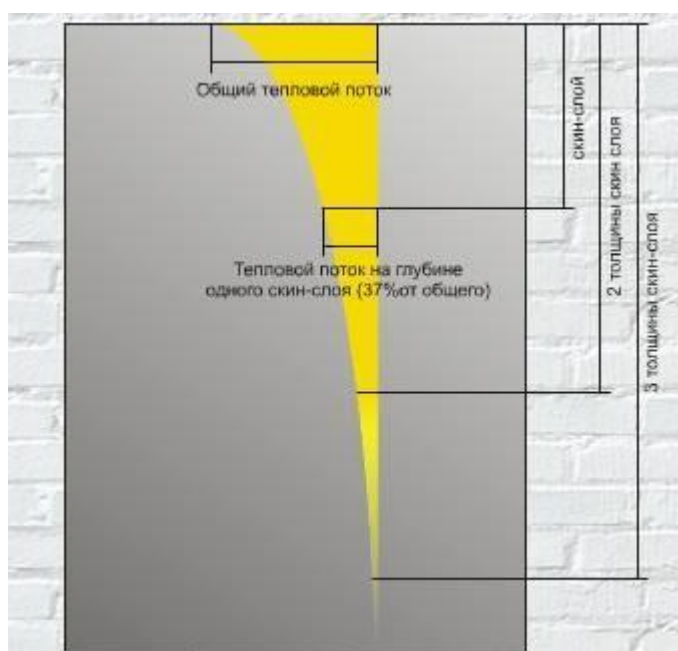


Рис. 1 Изменение интенсивности теплового потока вглубь проводника.

При толщине напыления алюминия $> 0,3$ мкм металлизированную пленку нельзя с уверенностью назвать отражающей изоляцией: при такой толщине напыления тепловой поток не может пройти насквозь, а может или отразиться или поглотиться. В этом случае материалы сравниваются по эмиссионности (степени черноты).

Эмиссия (ϵ) характеризуется количеством поглощенной лучистой энергии от падающего потока, может принимать значения от 0 до 1. Обычные строительные материалы являются высокоэмиссионными ($\epsilon = 0.9$) так как они поглощают до 90% лучевой энергии.

Высокочистая 99.9% полированная алюминиевая фольга имеет низкий фактор эмиссии $\epsilon = 0.03 \div 0.05$, так как ее поверхность может поглощать и передавать только $3 \div 5\%$ лучистой энергии. Низкоэмиссионными материалами являются золото, серебро, алюминий. У металлизированных пленок эмиссионность выше, чем у полированного алюминия и составляет по различным источникам $\epsilon = 0.18 \div 0.36$, что не удивительно, так как излучение в первую очередь попадает не на саму фольгу, а на полимерный слой (как правило, полиэтилентерефталат), который поглощает ИК излучение.

Бытует мнение, что напыленные пленки более устойчивы к окислению, так как слой алюминия с двух сторон закрыт защитным материалом. Но не стоит забывать того, что полимерные пленки паро- и воздухопроницаемы, а напыляемые слои более подвержены окислению по сравнению с прокатной фольгой.

Высокочистая полированная алюминиевая фольга очень устойчива к окислению. Как показывает опыт применения материала с фольгированным покрытием толщиной 30 мкм, в помещениях с очень высокой влажностью (более 85%) фольгированная поверхность не претерпела никаких изменений на протяжении 4-х лет. Даже если взять окисленный алюминий, то показатели его эмиссионности очень близки к металлизированным пленкам.

На рисунке 2 представлена зависимость степени черноты от длины волны для полированного и окисленного алюминия.

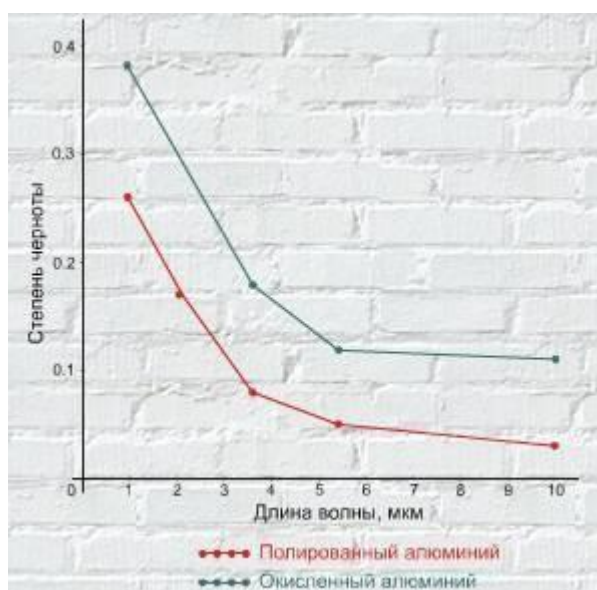


Рис. 2 Зависимость степени черноты от длины волны для полированного и окисленного алюминия.

Дополнительным доводом в пользу фольги говорит то, что главным "бичом" отражающей изоляции является отнюдь не окисление алюминия, а запыление зеркала. Вот здесь и выявляются преимущества фольги. Так как фольга является токопроводящим материалом, то на ней практически не скапливается статическое электричество, притягивающее мельчайшие частицы пыли. Металлизированные пленки, напротив, по структуре напоминают конденсатор, тем самым, накапливают статическое электричество со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Еще одна область применения металлизированных пленок - теплые полы. Казалось бы, они специально для этого сделаны - слой полимера надежно закрывает металл от щелочного действия бетонной стяжки, но и здесь кроется проблема. Дело в том, что алюминий под теплыми полами выполняет "разравнивающую" функцию, то есть при незначительной толщине бетонной стяжки нивелирует так называемые "тепловые полосы". Но как показали исследования, эффективность выравнивания общего теплового поля напрямую зависит от толщины алюминиевой фольги. Так для наилучшего разравнивания при толщине бетонной стяжки 3 см толщина фольги должна быть минимум 30 мкм. Конечно, при толщине 100 мкм эффективность разравнивания увеличивается, но и существенно возрастает и цена.

А теперь от слов перейдем к цифрам.

Начнем с теории. Как известно общий тепловой поток в системе с отражающей изоляцией состоит из 3 составляющих - конвекции, теплопередачи и излучения:

$$Q_{\text{общ.}} = Q_{\text{конв.}} + Q_{\text{теплопер.}} + Q_{\text{изл}}$$

Мы опишем только излучательную составляющую теплового потока, так как именно эта характеристика определяет эффективность отражающей изоляции. Чем меньше тепловой поток, тем меньше теплопотери.

Так для неограниченных параллельных плоскостей замкнутой системы двух серых тел тепловой поток путем излучения определяется по закону Стефана-Больцмана:

$$Q_{\text{изл}} = \sigma \epsilon_{12} (T_1^4 - T_2^4),$$

$$\epsilon_{12} = (1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1)^{-1},$$

где $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$ – постоянная Больцмана,

ϵ_{12} – приведенная излучательная способность,

T_1 – температура горячей и T_2 – температура холодной поверхности.

ϵ_1 и ϵ_2 излучательная способность теплой и холодной поверхности.

Подставим в эти уравнения наши данные:

Для фольги $\epsilon_1 = 0.05$, для металлизированных пленок $\epsilon_1 = 0.20$, ϵ_2 принимаем равной 0.9, тогда при прочих равных условиях получается, что фольга как минимум в три раза более эффективна по сравнению с металлизированными пленками. Думаю, эта цифра говорит сама за себя, если потребитель согласен брать материал с заранее более низкими характеристиками, то в этом случае можно вспомнить поговорку - "Скупой платит дважды".

Литература

1. Блох, А.Г., Журавлев, Ю.А., Рыжков, Л.Н. Теплообмен излучением. Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 432 с.
2. Богословский В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): учебник для вузов по спец. "Теплогазоснабжение и вентиляция" / В. Н. Богословский. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш.шк., 1982. - 415 с.
3. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. - М.: Высш.шк., 1984. - 248 с.