

«Заказ выполнен»

Главный разработчик

ВХОДЯЩИЙ №

ДАТА

«Утверждаю»

Генеральный директор

Отчет о работе, проделанной по заказу 31- ОГР – 05/03.

Заказчик: Главный разработчик ЗАО «САЗИ».

Исполнитель: Инженерный центр ЗАО «САЗИ».

Цель расчета.

Оценить минимальное значение паропроницаемости герметика, удовлетворяющее требованию ГОСТ 30971-2002 по сопротивлению паропроницаемости.

Постановка задачи.

ГОСТ 30971-2002 задает верхний предел сопротивления паропроницаемости внешнего слоя монтажного шва. Паропроницаемость герметика есть отношение толщины слоя к сопротивлению паропроницаемости. Следовательно, задача сводится к определению толщины слоя, которой следует задаться для разработки материала. Поскольку толщина слоя в реальном объекте есть величина переменная, которая зависит от неровностей основы, на которую наносится герметик (поверхность монтажной пены после среза), то смыслом задачи является определение толщины плоского слоя (далее по тексту – «плоская толщина»), эквивалентной по потоку пара указанной переменной толщине.

Исходные данные.

1. Максимальный диаметр пор составляет 10мм (ГОСТ 30971-02).
2. Расположение пор в массе пены является произвольным, так что расстояние от центра поры до плоскости среза пены с обеих сторон от края изменяется от 0 до r , где r - радиус поры (см. рис.1).
3. Поверхность герметика при нанесении на срез пены полностью повторяет все неровности пены.
4. Толщина слоя герметика нигде не должна быть меньше 1,7мм.
5. Технологический допуск толщины слоя при нанесении герметика – 1,5мм.

Обоснование принятых допущений и метод расчета.

Чтобы рассчитать плоскую толщину слоя герметика, необходимо рассмотреть величину потока пара. В настоящей расчетной модели принимаются следующие два положения, заведомо превышающие минимальное значение паропроницаемости:

- 1) Берется самый неблагоприятный вариант размера и расположения пор: принимается, что пена представляет собой плотноупакованные (касающиеся друг друга) поры диаметром только 10мм. Такое допущение обосновано тем, что в реальном случае поры почти всегда меньше 10мм, а поры с диаметром больше 10мм не удовлетворяют ГОСТу. Далее, для более простого расчета принимается усредненное расположение пор относительно плоскости среза пены (рис.1а). Реальный случай изображен на рис.1б.

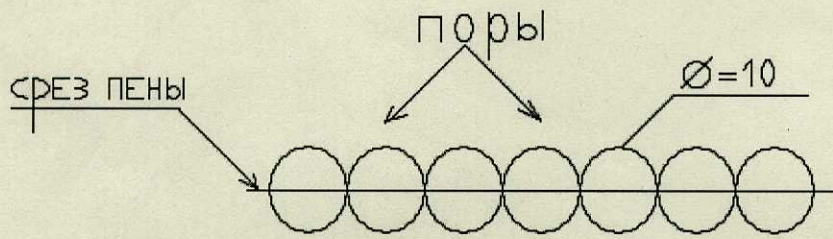


Рис.1а (модель)

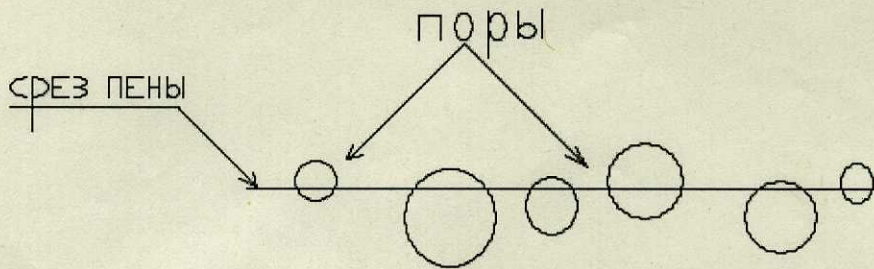


Рис.1б (реальный случай)

2) Для расчета потока пара через поры в пене использовалась упрощенная модель параллельного потока через слой, ограниченный сферической поверхностью (см. рис.2). Так как условие, что поток параллелен, является более жестким, чем реальная ситуация, то такое ограничение вполне обоснованно для расчета.

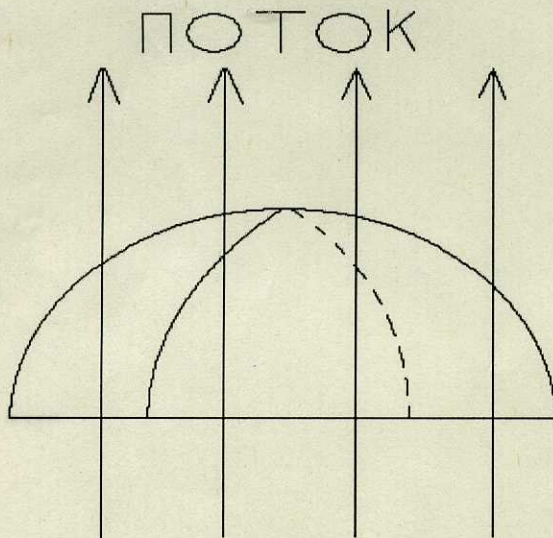


Рис.2

Поток через такой слой сравнивали с потоком через эквивалентный слой в виде тела с постоянной толщиной и с такой же площадью основания, как и у сферы. В данном случае, таким телом являлся цилиндр (см. рис.3) с основанием πr^2 , где r – радиус сферы, 5мм.

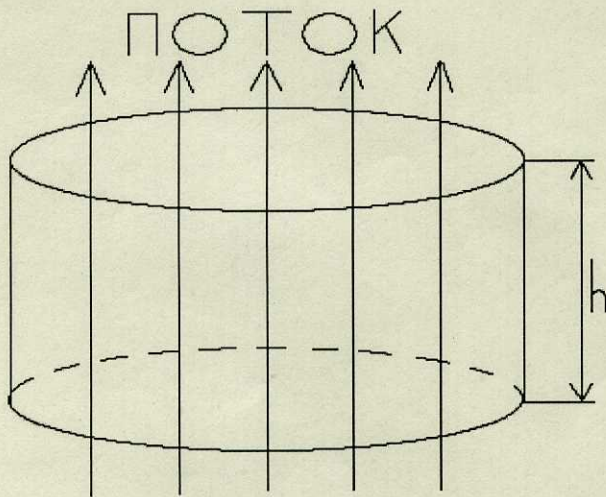
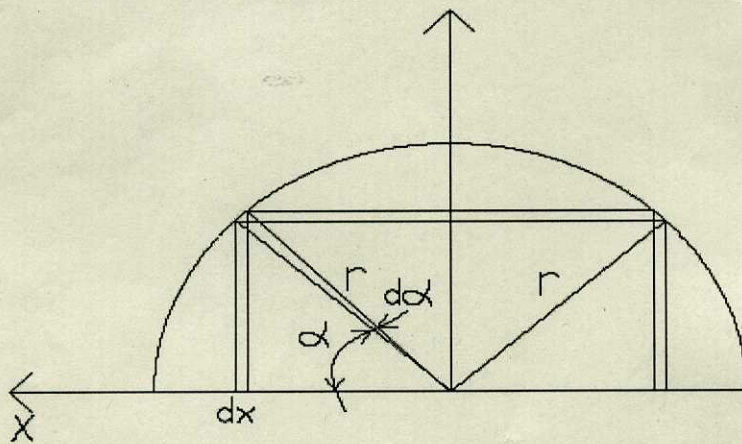


Рис.3

Тогда высота цилиндра h даст искомую плоскую толщину. Высоту цилиндра h нашли из условия равенства потоков.

Расчет.

Для сферы поток вычисляется интегрированием - выделяется элементарная площадка в виде кольца, высоту которого над горизонтальной поверхностью варьируется от 0 до r .



Известно, что поток N равен отношению изменения массы к времени этого изменения:

$N = dm/dt = dP \cdot S \cdot \mu / b = (dP \cdot \mu) \cdot S / b = k \cdot S / b$, где $dP = P_1 - P_2$, P_1 – парциальное давление паров воды при температуре испытания, P_2 – парциальное давление паров воды над образцом, μ – паропроницаемость, S – площадь образца, b – толщина образца.

Далее под h_0 понимают начальную толщину слоя герметика, складываемую из минимальной толщины слоя и технологического допуска, $h_0 = 1,7\text{мм} + 1,5\text{мм} = 3,2\text{мм}$.

Тогда $dN = k \cdot dS / b = k \cdot 2\pi r dx / (h_0 + r \sin \alpha) = 2\pi \cdot (r \cos \alpha) d(r \cos \alpha) / (h_0 + r \sin \alpha)$, =>

$$N = \int_0^{\pi/2} dN = 2\pi h_0 \cdot \ln(1+r/h_0) - 2\pi r. \text{ Это поток через сферическую поверхность.}$$

Далее учитывается наличие между порами участков гладкой поверхности (см. рис.4). Наличие таких участков приводит к увеличению суммарного потока. Площадь участка гладкой поверхности равна:

$$S_{\text{глад.пов.}} = S_{\text{ABC}} - 3S_{\text{сек}} = 1\sqrt{2} * (2r)^2 * \sin 60^\circ - 3\pi r^2 \sqrt{6} = 2r^2 * \sqrt{3}\sqrt{2} - 3\pi r^2 \sqrt{6} = \sqrt{3} * r^2 - 3\pi r^2 \sqrt{6} \approx 0,16r^2, \text{ где } S_{\text{сек}} - \text{площадь сектора.}$$

Так как количество таких промежутков равно количеству сфер, для пересчета значения плоской толщины h использовался поток через одну сферу и одну гладкую поверхность.

Тогда уравнение потоков выглядит следующим образом:

$$N_{\text{сф}} + N_{\text{глад.пов.}} = N_{\text{т}}, \text{ где } N_{\text{сф}} - \text{поток через слой, ограниченный сферой, } N_{\text{глад.пов.}} - \text{поток через промежуток между сферами, } N_{\text{т}} - \text{поток через цилиндрический слой, } N_{\text{т}} = \pi r^2 / h.$$

$$2\pi r - 2\pi h_0 * \ln(1+r/h_0) + 0,16r^2/h_0 = (\pi r^2 + 0,16r^2)/h, \Rightarrow h = 6,00\text{мм.}$$

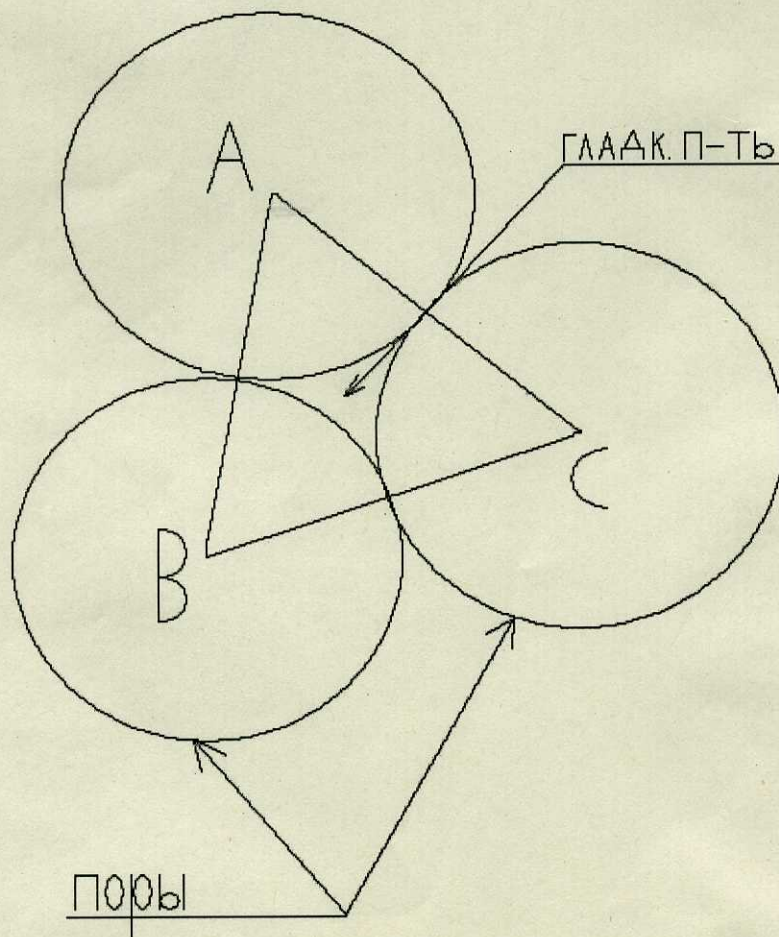
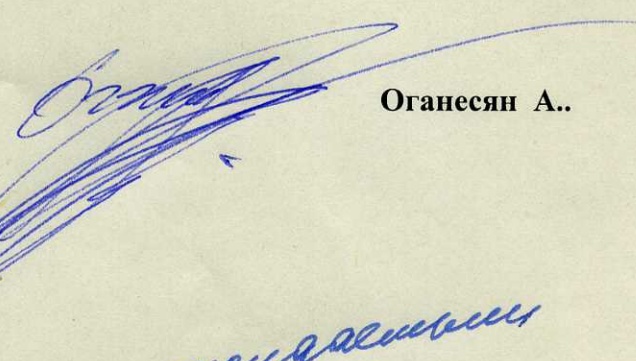


Рис.4

Вывод.

Получено, что плоская толщина составляет $h = 6$ мм. Тогда требуемая паропроницаемость герметика составляет $\mu = h/R = 0,024$ мг/м²*ч*Па. Данный результат является верхней оценкой, так как были приняты следующие ужесточающие условия: поры принимались плотноупакованными и имеющими одинаковый диаметр 10мм, максимальный для данной задачи, и, кроме того, поток считался параллельным.

Старший инженер


Оганесян А..

прошью определиться с ожидаемыми
отклонениями от верхней границы: что
можно формулировать?

-10 ÷ 15 %!

Примечание: радиус плотноупакованных пор в расчете принимается равным 10мм. Возможно сомнение, не будет ли результат расчета некорректным в связи с тем, что в реальности подавляющее количество пор имеют меньший диаметр. Для этого рассмотрим зависимость $h=h(r)$, что покажет, как меняется эквивалентная плоская толщина в расчетной модели при разном диаметре плотноупакованных пор.

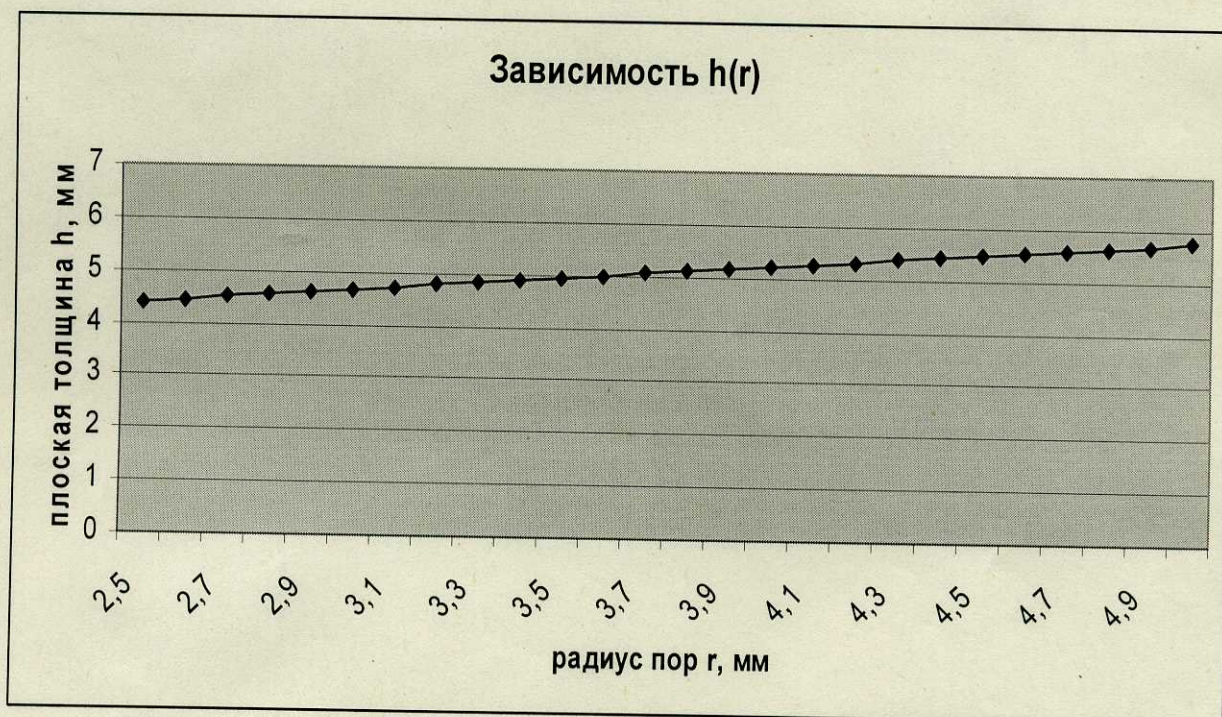
Из расчета известна формула для вычисления h :

$$2\pi r - 2\pi h_0 \ln(1+r/h_0) + 0,16r^2/h_0 = (\pi r^2 + 0,16r^2)/h$$

$$\text{Следовательно, } h = (\pi r^2 + 0,16r^2)/(2\pi r - 2\pi h_0 \ln(1+r/h_0) + 0,16r^2/h_0).$$

Ниже приведена таблица связи плоской толщины h и радиуса пор r :

2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
4,391818	4,676618	4,953059	5,22272	5,486605	5,745407



Очевидно, наибольшее значение величины плоской толщины достигается при $r = 5$ мм. Таким образом, подтверждено, что модель, в которой принята плотная упаковка пор диаметром 10мм, максимальным по ГОСТ, жестче по оценке сопротивления паропроницаемости, чем аналогичная плотная модель с любым меньшим диаметром пор.

А.Оганесян.