

КОМПАНИЯ «ЭКАТ»

ПЕНОМАТЕРИАЛЫ

ВИДЫ, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ



г. ПЕРМЬ

ПЕНОМАТЕРИАЛЫ

Пеноматериал - новый класс материалов ячеистой структуры, имеющих крайне низкую плотность в сочетании с высокой удельной прочностью, поверхностью и шумопоглощением, низким гидравлическим сопротивлением.

В настоящее время существует несколько принципиально различных способов получения: литейный, суспензионный (шликерный), химический, гальванический, газофазный, их комбинации. Основным структурным элементом является ячейка, представляющая собой по форме вытянутый пентагональный эллипсоид вращения.

Внутренняя структура, прочностные и гидравлические характеристики определяются в основном параметрами структуры исходной матрицы, пористостью и относительной плотностью. В зависимости от способа получения, вида материала, особенностей технологических режимов у пеноматериалов имеются различия в микроструктуре матрицы, перемычек. На месте удаленной матрицы (кроме пенометаллов полученных методом литья) сохраняется канальная пористость. Объем трехгранных канальных пор составляет 2-3 % от общего объема материала, и они составляют трехмерную связную сеть пронизывающую весь образец.

Основные особенности и свойства пеноматериалов:

- сетчато-ячеистая структура;
- высокое значение открытой сообщающейся пористости 80 – 97 %;
- канальная пористость;
- большое отношение модуля упругости и прочности к плотности;
- вибростойкость;
- высокая связность элементов;
- равномерное поглощение энергии при деформации;
- высокая газопроницаемость;
- малое гидравлическое сопротивление;
- отсутствие оптически сквозных каналов;
- интенсивный массо- и теплообмен с протекающей сквозь материал средой;
- несколько механизмов теплопередачи внутри структуры материала.

Пеноматериалы могут быть изготовлены из совершенно различных базовых материалов: никель, медь, железо, нихром, алюминий, фехраль, хромаль, нержавеющие стали и сплавы, бронзы, монель, кобальт, родий, платина, золото, серебро, углерод, фарфор, керамические составы (оксиды, карбиды, нитриды, бориды, силициды).

Данный класс материалов находит самые разнообразные применения. В то же время для широкого круга возможных потребителей они до сих пор малоизвестны.

Ниже представлены основные свойства, области применения, характеристики и получившие наибольшее распространение пеноматериалы.

СВОЙСТВА ПЕНОМАТЕРИАЛОВ

Состав		Никель	Медь	Нихром	Алюминий	Ферроникель	Оксид алюминия	Карбид кремния	Оксид циркония
		Ni 99,9 %	Cu 99,5-99,9 %	Ni 75 %, Cr 25%	Al 96%, Si 4 %	Ni 5-80%, Fe – ост.	Al ₂ O ₃ 98%; Ca, K, Cr	Si 66 %, C 34 %	ZrO ₂
Плотность ¹ , г/см ³	мин.	0,35	0,4	0,4	0,16	0,15	0,2		
	макс.	0,7	0,8	0,6	0,4	0,45	0,8		
Пористость, %	мин.	85	85	90	88	90	80		
	макс.	97	98	95	97	98	95		
Модуль Юнга ² , ГПа	мин.	0,40	0,17		0,06				
	макс.	1,00	0,37		0,30			2,80	
Коэффициент Пуассона	мин.					0,32			
	макс.					0,34			
Температура плавления, °С		1445	1080	1400	660			3500	
Температура применения ³ (в том числе на воздухе), °С		650 (450)	250 (100)	800	250 (140)	400	1350	1500 (315)	1700
Теплопроводность ⁴ , Вт/м·К		3	15		7			0,04	

¹ Плотность зависит от технологии производства, состава и пористости.

² Оценочная характеристика, данные приведены справочно.

³ Оценочная характеристика, данные приведены справочно. Температурная область применения существенно зависит от технологии производства, состава, агрессивности среды.

⁴ Оценочная характеристика, данные приведены справочно и отражают теплопроводность матрицы материала, без учета конвективного и лучевого теплопереноса через поры.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕНОМАТЕРИАЛОВ

Область применения	Изделие, устройство, процесс	Используемые свойства
Катализ	Блочные элементы носителей катализаторов, катализаторы	Высокая удельная поверхность, проницаемость, термостойкость, прочность
Фильтрация	Различные фильтрующие элементы (газы, жидкости, расплавы металла)	Низкое гидросопротивление, развитая поверхность, термо- и стойкость в активных средах
Аккумуляторные элементы	Электрические аккумуляторы повышенной емкости	Высокая открытая пористость, электропроводность
Акустика	Звукопоглощающие панели, элементы акустические системы, шумогасители при сбросе высокого давления	Структура порового пространства, термо- и вибростойкость
Композиционные структуры	Сверхлегкие и термостойкие конструкционные элементы, трех- и двухслойные панели, композиционные материалы	Большое отношение модуля упругости и прочности к плотности, жесткость, малая плотность, совместимость с материалами оболочек и наполнителей
Выравнивание газовых и жидкостных потоков	Аэродинамические трубы, испытательные стенды, датчики давления, смещение и разделение газов и жидкостей, фильтры	Низкое гидросопротивление, равномерность поровой структуры (ламинаризация - успокоение)
Теплообменные и теплоотводящие устройства	Компактные теплообменники, теплоотводящие элементы, разделительные перегородки	Структура порового пространства, теплопроводность основы, низкое гидросопротивление
Электролиз	Электролиз воды, растворов, электрополировка, извлечение ионов металлов, электрод для электролиза	Высокая удельная поверхность, проницаемость, электропроводность, прочность, устойчивость к коррозии
Демпфирование механических импульсов	Кумулятивные заряды, демпфер волны у надводных кораблей, поглотитель энергии в системе безопасности автомобилей	Поровая структура, жесткость, пористость, способность деформироваться при постоянном низком напряжении с поглощением энергии
Огне- и взрывопреградители	Перегородки газопроводов, смесителей, выхлопные трубы	Газопроницаемость, высокая сообщающаяся пористость
Конденсация побочных продуктов	Устройства для разделения газовых и конденсированных фаз	Высокая проницаемость, химическая стойкость, смачиваемость
Топливные элементы (прямой метаноловый, полимерный электролитический и др.)	Токоприемник	Высокая удельная поверхность, электропроводность, низкое электрическое сопротивление, прочность
Отопительные устройства	Нагревательные элементы, нагреватели газов, жидкостей, испарители, газовые форсунки, дожиг топлива	Высокая газопроницаемость, электропроводность, термостойкость, сообщающаяся пористость
Экранирование, поглощение электро-магнитных волн	Экранирующие элементы в импульсных источниках электромагнитных полей, в технологии «стелс»	Малая плотность, структура порового пространства
Биотехнологии	Платформы для выращивания биологически активных систем	Высокая пористость, удельная поверхность, химическая стойкость

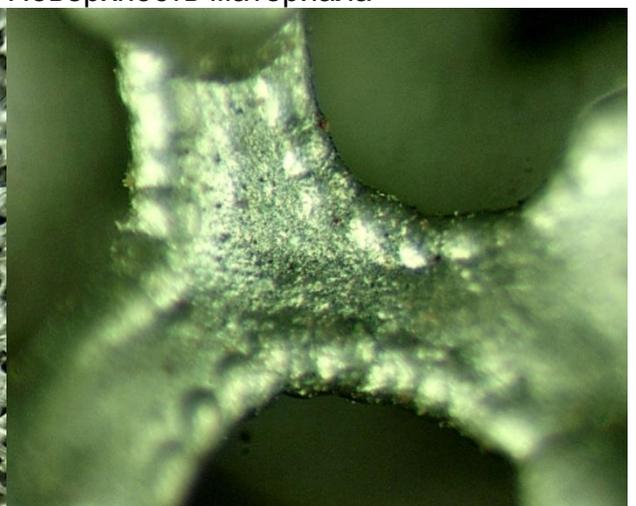
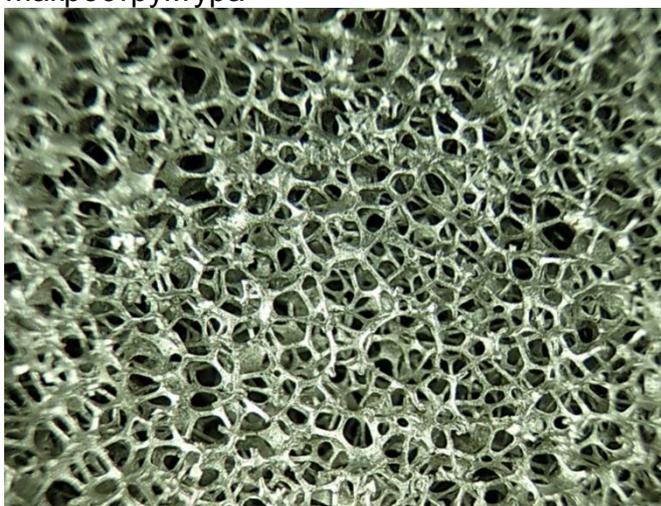
ПЕНОНИКЕЛЬ

- аккумуляторные электроды;
- топливные элементы;
- электролизеры;
- фильтры;
- огнепреградители;
- шумопоглотители;
- экранирование ЭМВ;
- катализаторы;
- носители катализаторов;
- уловители аэрозолей.



Макроструктура

Поверхность материала



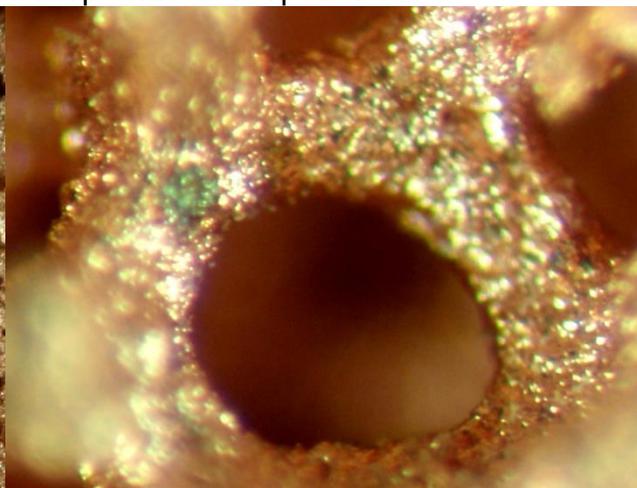
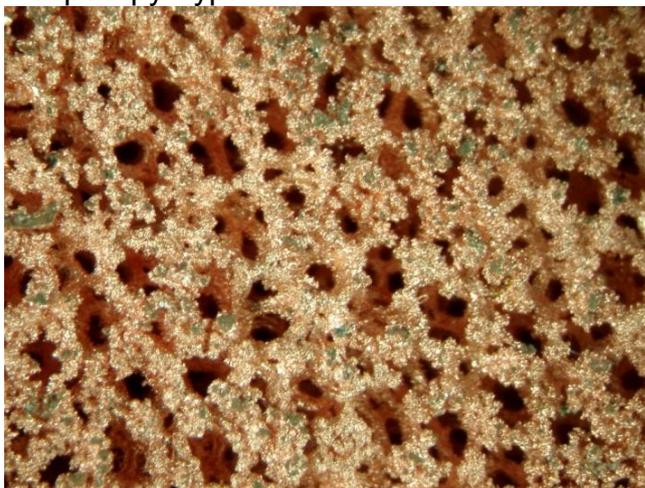
ПЕНОМЕДЬ

- теплообменные и теплоотводящие устройства;
- демпферы механических и акустических импульсов;
- смесители газов;
- уловители аэрозолей;
- биоцидные фильтры.



Макроструктура

Поверхность материала

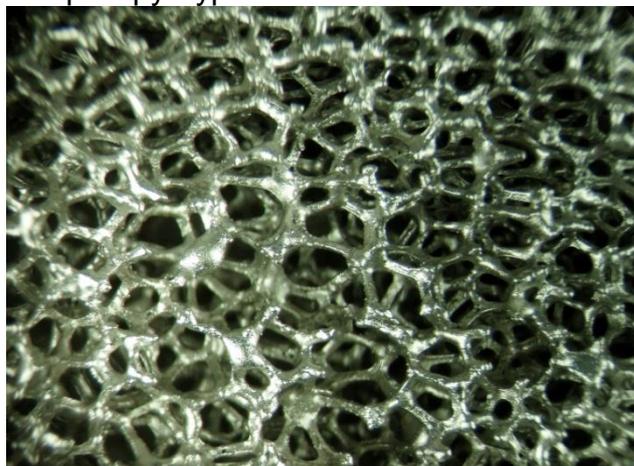


ЖАРОПРОЧНЫЕ СПЛАВЫ (Ni-Fe-Cr-Al, Ni-Cr-Al)

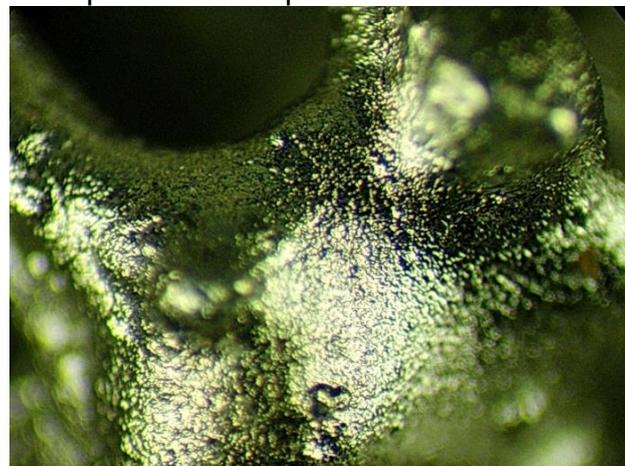
- жаростойкие носители катализаторов;
- фильтры;
- огнепреградители;
- инфракрасные излучатели;
- электрические нагреватели;
- конструктивные элементы;
- уловители аэрозолей.



Макроструктура



Поверхность материала



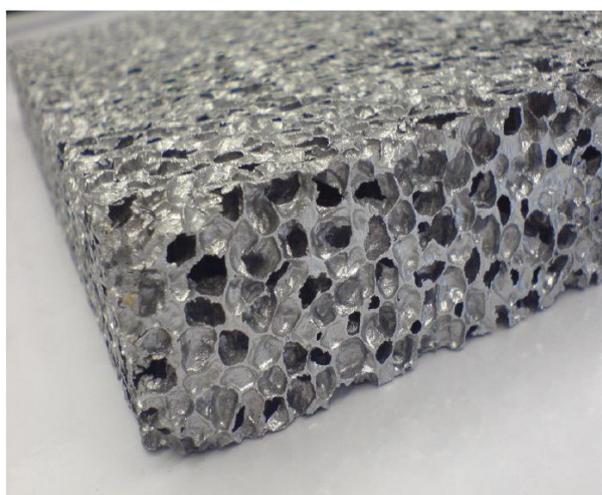
ПЕНОАЛЮМИНИЙ

- шумопоглотители;
- теплообменные и теплоотводящие устройства;
- заполнители полостей и емкостей;
- демпферы механических, акустических и ЭМ импульсов;
- выравниватели газовых потоков;
- несущие матрицы и регуляторы горения для твердых топлив;
- сэндвич-панели.



ОТКРЫТОЯЧЕИСТЫЙ ПЕНОАЛЮМИНИЙ

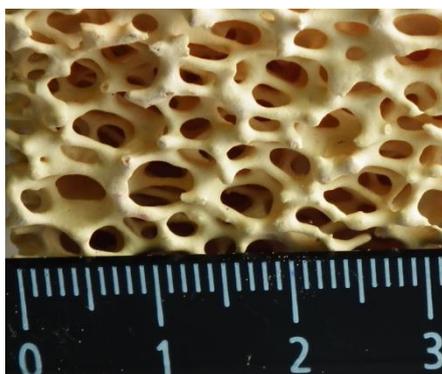
- теплообменные устройства;
- огне- и пламяпреградители.



ЗАКРЫТОЯЧЕИСТЫЙ ПЕНОАЛЮМИНИЙ

- упрочняющие и демпфирующие элементы для автопрома;
- шумозащитные экраны (для шоссе, аэропортов, мостов и др.);
- звукопоглощающие панели (для кинотеатров, стадионов, жилых зданий и др.);
- элементы акустических систем;
- шумогасители при сбросе высокого давления;
- сверхлегкие и термостойкие конструкционные элементы, трех- и двухслойные панели, композиционные материалы.

ПЕНОКЕРАМИКА



- фильтры агрессивных сред;
- фильтры расплавов металлов;
- высокотемпературная теплоизоляция;
- высокотемпературные фильтры;
- носители биологических сред;
- носители катализаторов;
- шумопоглотители.

ПЕНООКСИД АЛЮМИНИЯ

- фильтры агрессивных сред;
- фильтры расплавов металлов;
- высокотемпературная теплоизоляция;
- носители биологических сред;
- носители катализаторов;
- шумопоглотители

ПЕНОКАРБИД КРЕМНИЯ

- высокотемпературные фильтры;
- фильтры расплавов металлов;
- носители катализаторов;
- огнепреградители;
- инфракрасные излучатели;
- электрические нагреватели;
- теплоотводящие элементы;
- поглотители ЭМ импульсов;
- тепловые регенераторы;
- высокотемпературная теплоизоляция.

ПЕНООКСИД ЦИРКОНИЯ

- фильтры расплавов металлов.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛЫ

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

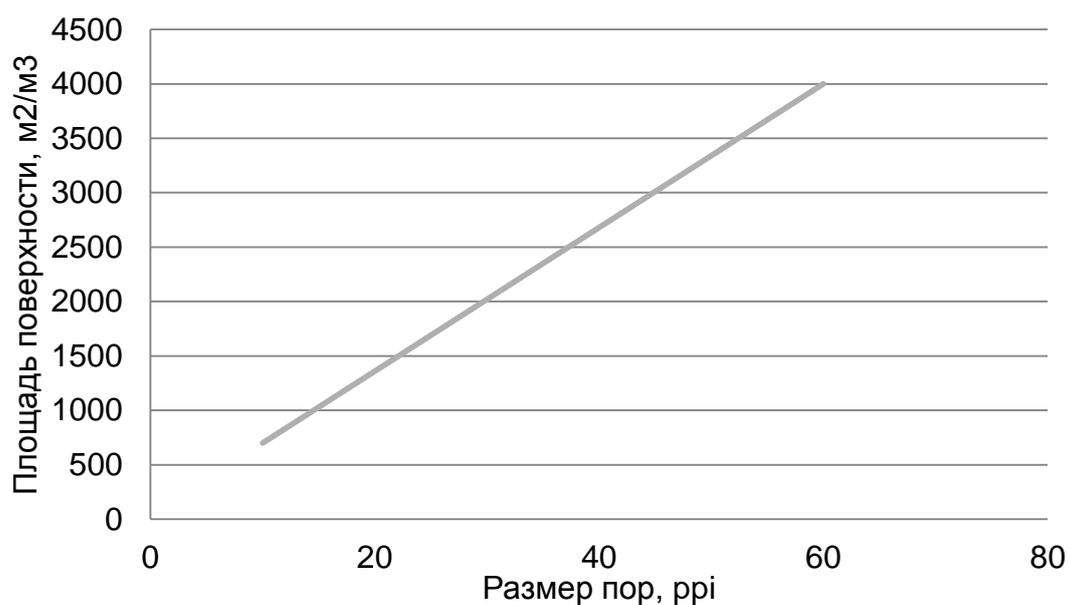
Традиционно в производстве пеноматериалов основная характеристика пористости обозначается PPI (Pores Per Inch) – среднее количество пор на дюйм. Размер пор имеет определенную дисперсию, типовые значения размеров пор приведены в таблице ниже.

PPI	Количество пор на сантиметр	Размер пор			Минимальная технологическая толщина блока
		Минимум	Медиана	Максимум	
100	39,4	0,23	0,25	0,28	1,5
80	31,5	0,28	0,32	0,36	1,5
60	23,6	0,39	0,42	0,46	3
45	17,7	0,51	0,56	0,64	3
30	11,8	0,73	0,85	1,02	4,5
20	7,9	1,02	1,27	1,69	6
10	3,9	1,69	2,54	3,18	12

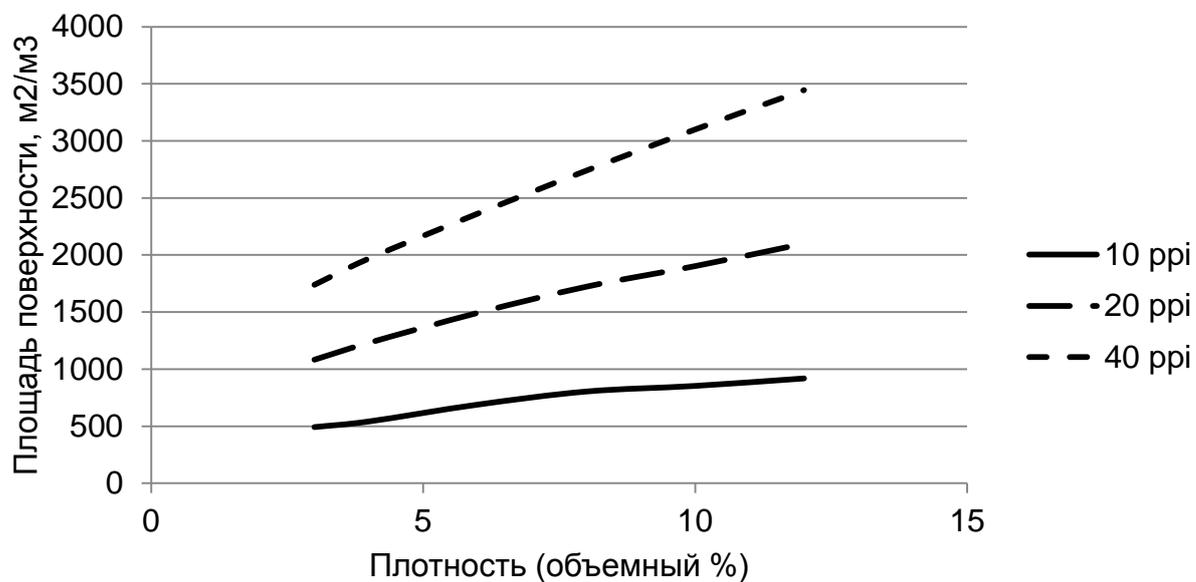
Так же в таблице приведена минимальная технологическая толщина блока. Эта величина определяется особенностями применяемой технологии изготовления и является оценочной характеристикой. Для некоторых технологий и материалов возможно отклонение в меньшую сторону (например, для электролитического никеля). Но, изготовление блока с такими параметрами, не рационально, поскольку трехмерная пористая структура вырождается в плоскую сеточную, которая может быть заменена более дешевой в производстве сеткой без потери свойств. Это может быть оправдано в очень ограниченном числе случаев.

Площадь свободной поверхности определяется размером пор и объемной плотностью пеноматериала. Характер зависимости этих параметров представлен ниже на графиках.

Площадь поверхности пор



Площадь поверхности пор

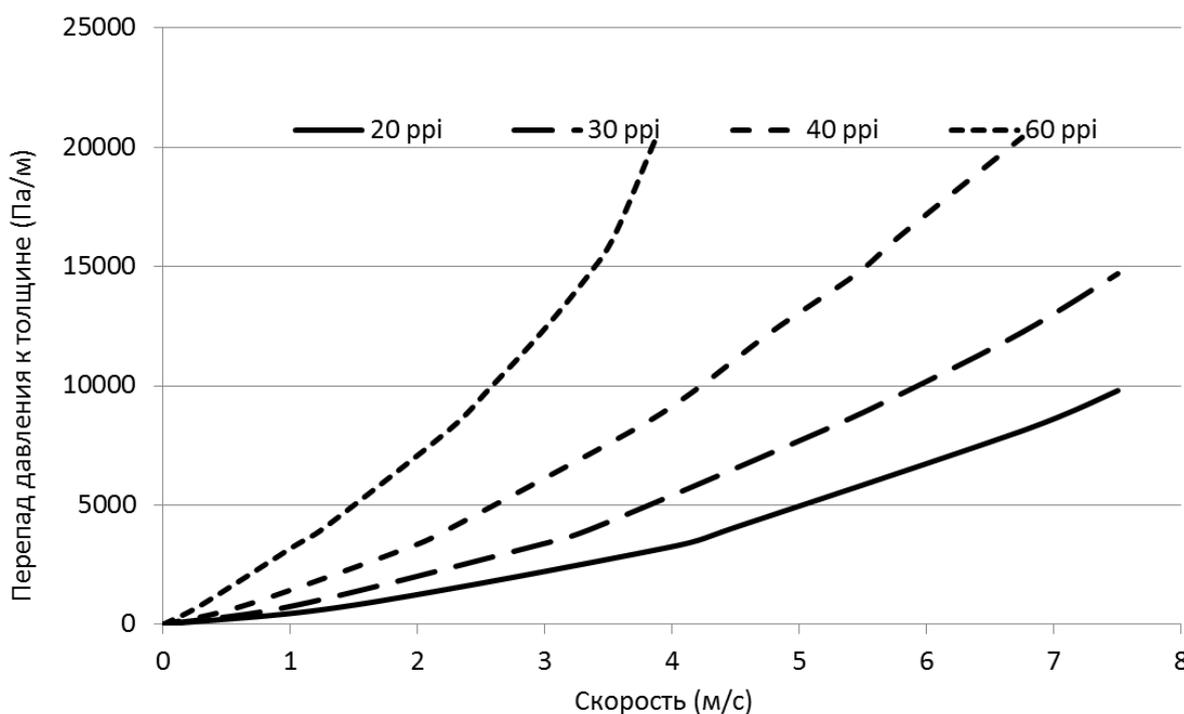


ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

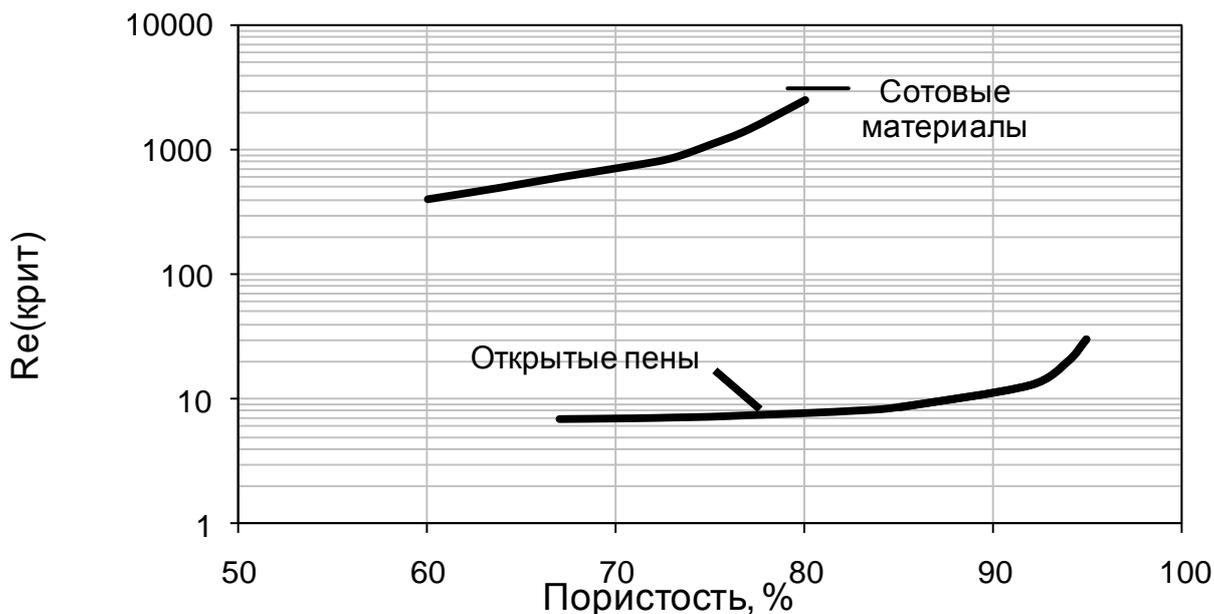
Режим течения в пеноматериалах имеет свои особенности, которые необходимо учитывать. Сопротивление течению сквозь материал носит существенно нелинейный характер. Совокупное гидравлическое сопротивление полностью соответствует течению Дарси и может быть описано зависимостью типа:

$$\frac{\Delta P}{h} = \alpha V + \beta V^2,$$

где $\frac{\Delta P}{h}$ - перепад давления по длине h , V – скорость течения, α и β – соответственно вязкостный и инерционный коэффициенты сопротивления, определяемые параметрами структуры пеноматериала. На графике ниже представлены оценочные значения сопротивления пеноматериалов при различных параметрах пористости.



Другой особенностью течения среды через пеноматериалы является высокая турбулизация потока. Уникальная сетчато-ячеистая структура обеспечивает лучшие условия тепло- и массообмена и более эффективное использование поверхности материала. Зависимость критерия Re от пористости, при котором происходит турбулизация газового потока для материалов сотовой и ячеистой структуры представлена ниже на графике.



Структура пеноматериала, при прохождении потока жидкости или газа, даже при малых числах Рейнольдса турбулизует и интенсивно перемешивает поток вблизи поверхности материала. Это свойство может быть использовано в различных процессах тепло- и массообмена: для разделения аэрозолей и газа, для быстрого взрывобезопасного смешивания горючих газов, в качестве взрывопламяпреградителей, в высокоэффективных компактных теплообменниках, в аэраторах, испарителях.

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Перенос тепла через пеноматериал происходит через матрицу, излучением и через заполняющую среду. Теплопроводность в интервале температур от 20 до 800 °С может быть выражена через уравнение:

$$\lambda = \lambda_1 \cdot \theta / 3 + \lambda_r \cdot (1 - \theta) + k \cdot T^3,$$

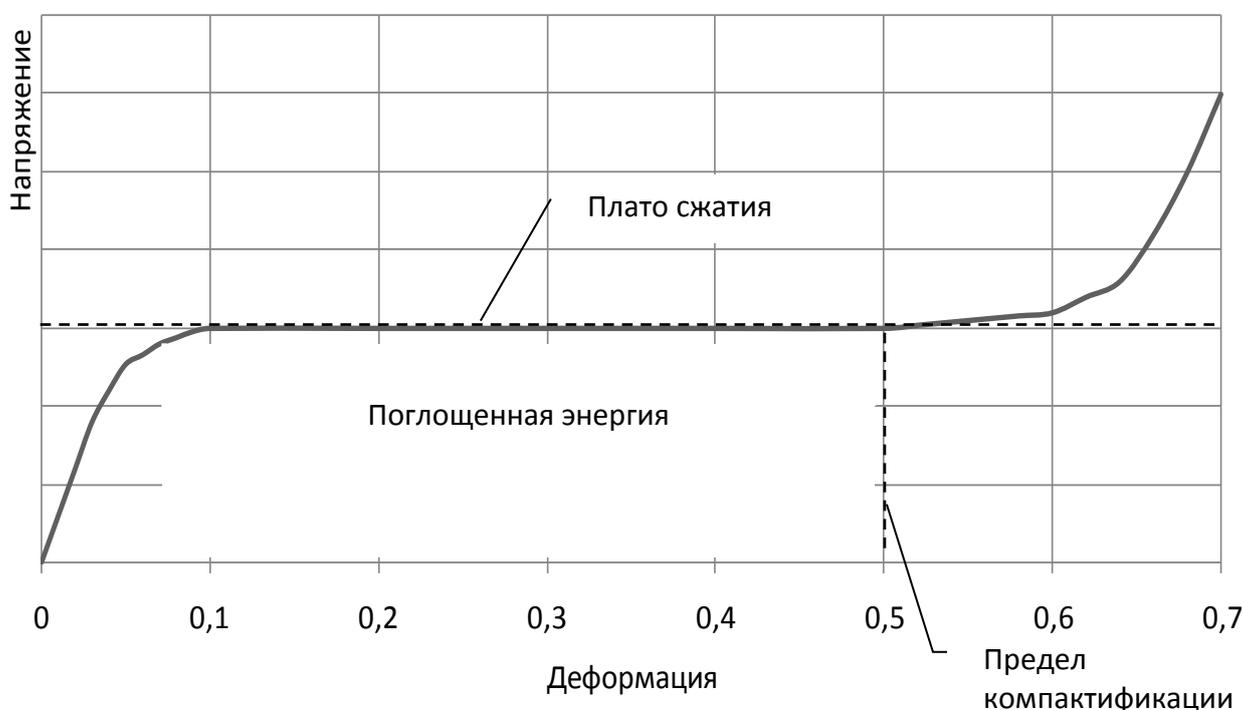
где λ_1 , λ_r – коэффициент теплопроводности компактного материала и заполняющего газа; θ – относительная плотность пеноматериала; k – эмпирическая константа ($k = 0,9 \cdot 10^{-12}$ Вт/м·К); T – средняя абсолютная температура.

Электропроводность пеноматериалов, не зависимо от способа получения, в интервале относительных плотностей ($2 \% \leq \theta \leq 15 \%$) с достаточной точностью находится по упрощенному уравнению:

$$\lambda / \lambda_k = \theta / 3,$$

где λ , λ_k – удельная электропроводность пеноматериала и компактного материала, θ - относительная плотность ВПЯМ.

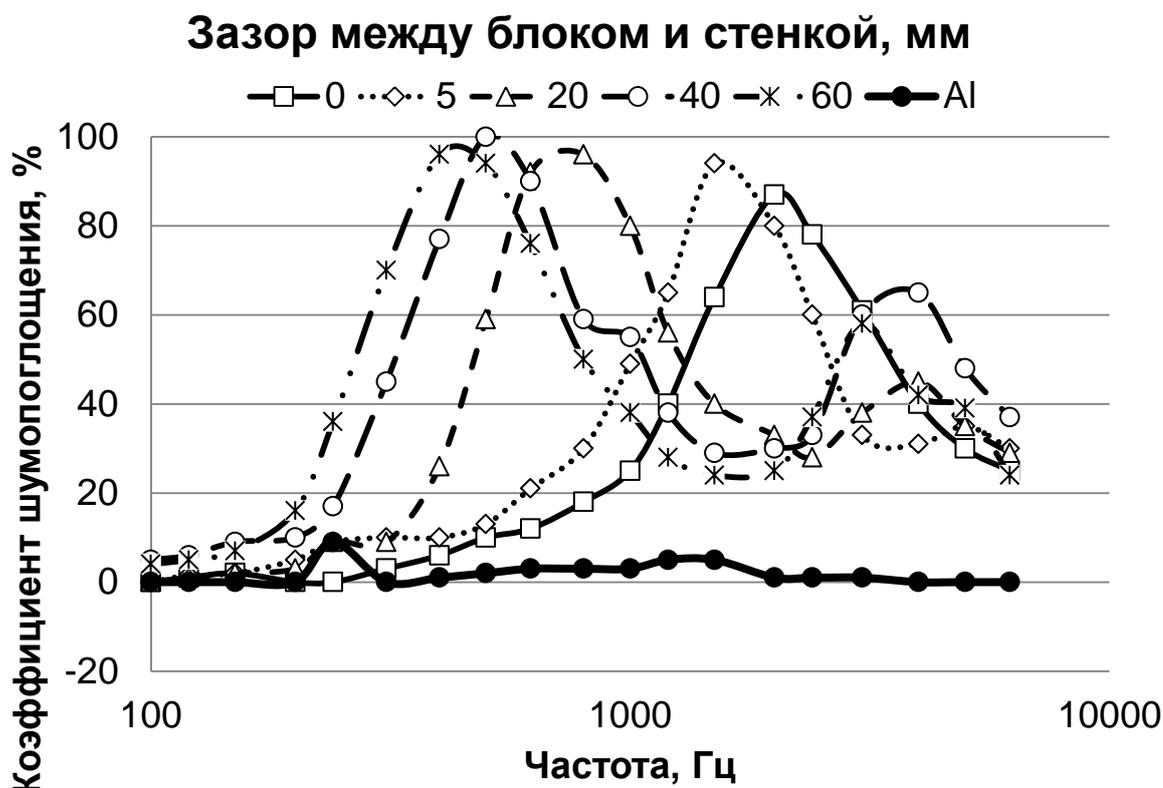
Механические свойства пеноматериалов обусловлены трехмерной изотропной структурой и определяются поведением отдельных структурных элементов – перемычек. Диаграмма сжатия материала имеет четыре участка. На первом участке, протяженность которого зависит от самых слабых элементов каркаса и краевых неоднородностей, происходит их деформация при небольших нагрузках. На втором участке происходит упругая деформация. На третьем участке перемычки теряют устойчивость, развиваются пластические деформации и диаграмма сжатия переходит в плоский участок (плато сжатия). Процесс носит циклический цепной характер: потеря устойчивости одной из перемычек влечет развитие деформации у соседних и далее по всему слою, постепенно слои материала схлапываются до предела компактификации, когда поры окончательно закрываются и деформированный материал начинает приобретать свойства компактного. На четвертом участке напряжение в материале снова возрастает и постепенно приближается к диаграмме сжатия компактного материала. Схематически процесс представлен ниже на рисунке.



Для хрупких материалов (углерод, керамики, непластичные металлы) диаграмма сжатия на третьем участке выглядит рваным образом. Это обусловлено резкой релаксацией напряжений при переломе перемычек. При дальнейшем нагружении разрушается весь слой, вплоть до полного раскрашивания образца. Напряжение при разрушении может быть как больше, так и меньше предыдущего цикла.

Акустические свойства пеноматериалов определяются внутренней структурой, свойствами компактного материала, а так же внешними условиями. С увеличением толщины расширяются границы частотного диапазона в котором материал наиболее эффективен. Величина коэффициента звукопоглощения и частотная характеристика зависит от пористости и размера ячеек. Максимум звукопоглощения пеноматериала у жесткой стенки расположен, как правило, в области высоких частот 3-4 кГц. Смещения максимума поглощения можно добиться, увеличивая воздушный зазор между блоками и стенкой. На диаграмме ниже представлена характеристика шумоглушения пеноалюминиевого блока при

разных воздушных зазорах, а так же для сравнения дана характеристика сплошного листа алюминия.



Главная ценность пеноматериалов заключается не в каком либо одном уникальном свойстве, а в уникальной совокупности характеристик. Произвольная комбинация нескольких свойств и областей применения для одного и того же материала в одних и тех же условиях позволяет создавать принципиально новые продукты и технологии. Мультифункциональность определяет главную ценность этого класса материалов.

Компания «ЭКАТ»
 Адрес: г. Пермь, ул. Профессора Дедюкина, 27
 Телефон/факс: +7 (342) 255-44-39
 Сайт: <http://ekokataliz.ru>
 Электронная почта: info@ecocatalysis.com