

Краевой конкурс творческих работ учащихся  
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики»

Прикладные вопросы математики

**Прогнозирование изменения физических свойств композиционного  
сетчато-ячеистого материала при армировании**

Кошелев Илья Александрович,  
11 кл., МБОУ «Лицей №1» г. Перми,

Герцен Татьяна Анатольевна,  
к.х.н., доцент ПНИПУ

Пермь. 2012.

## Введение.

Много веков длится процесс познания окружающего мира. Открывая спрятанные под покровом бесконечно многообразного мира явлений законы природы, человек научился применять их для своих целей, создавать то, чего никогда не было в самой природе.

Во второй половине XX-ого века очень быстро развивается научно-технический прогресс, что привело к бурному росту таких отраслей как автомобилестроительная, авиационная, радиоэлектронная и т.д. Это в свою очередь привело к созданию новых материалов.

Одним из таких материалов является КМ - высокопористые проницаемые ячеистые композиционные материалы

КМ (композиционные материалы) обладают широкими возможностями применения в различных областях техники и отраслях народного хозяйства: металлургии, авиастроении, ракетостроении, приборостроении, машиностроении и др. Разработка и применение КМ позволяет создавать новые, совершенствовать системы очистки газов, жидкостей, глушителей шума, датчики давлений, огнепреградители, адсорбционные, акустические, отопительные, теплообменные устройства, элементы химических источников тока.

КМ в сочетании с сетчато-ячеистой матрицей обладают широким набором физико-химических и эксплуатационных характеристик, а также обладают уникальным сочетанием гидравлических и физико-механических свойств: высокую пористость, газопроницаемость, термостойкость, пылеемкость, фильтрующую способность, коррозионную стойкость, удельную поверхность, низкое гидравлическое сопротивление, высокую (для данного уровня пористости) конструкционную прочность и жесткость; а так

же высокой проницаемостью и малым удельным весом, высокой жесткостью, - недостижимым при получении пористых материалов по традиционным технологиям из порошков, волокон и сеток. Достижимое при этом необычное сочетание свойств позволяет создавать на основе КМ эффективные теплообменные устройства, фильтры, катализаторы, конструкции для поглощения различных видов энергии и т.д.

В лаборатории разработаны высокопористые материалы на основе металлов и различных видов керамики, что позволяет в широком диапазоне варьировать их эксплуатационные характеристики в зависимости от приложения.

Изделия из КМ во многих случаях применяются в сочетании с непористыми элементами, например, с крепежными и несущими устройствами (втулки, ребра жесткости и т.д.), массопроводящими и теплопроводящими элементами (трубки, стержни и т.д.). В связи с этим приобретает актуальность проблема создания композиционных сетчатоячеистых материалов и конструкций, состоящих из высокопористых и непористых сред. Наиболее предпочтительным способом получения сетчатоячеистых композитов представляется одновременное формирование макро- и микроструктуры сетчато-ячеистой матрицы, и присоединение ее структурных составляющих (перемычек) к армирующим или выполняющим другие функции элементам.

## Глава 1.

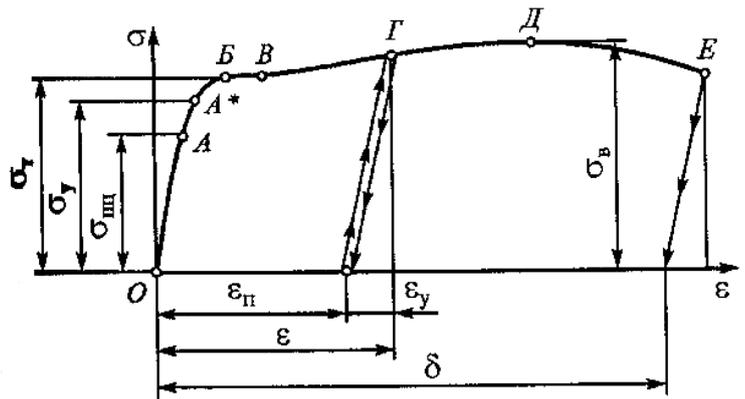
Для большинства конструкционных материалов между напряжением и продольной деформацией до определенного предела нагружения существует линейная зависимость

Закон Гука: Напряжение пропорционально деформации.

Впервые Закон Гука был опубликован в виде анаграммы английским ученым Робертом Гуком (1635 – 1703 гг.). При правильной расстановке букв анаграмма читается: «Каково удлинение, такова и сила».

К такому же заключению в 1680 г., независимо от Гука, пришел французский ученый Эдмон Мариотт.

Коэффициент пропорциональности (E) в формуле закона Гука называется модуль продольной упругости или модуль Юнга – по имени английского ученого Томаса Юнга. Значение модуля Юнга для данного материала устанавливается опытным путем. В справочниках обычно приводятся среднее значение модуля Юнга.



Необходимо отметить, что некоторые материалы не подчиняются закону Гука, например, кожа, ткани. Такие материалы, как, например, чугун, только с некоторым приближением можно считать подчиняющимся закону Гука. Но даже и те материалы, которые подчиняются закону Гука, перестают ему следовать при достижении деформации определенного значения.

Из закона Гука видно: чем больше модуль Юнга, тем меньше (при том же значении напряжения) деформация материала. Следовательно, модуль продольной упругости характеризует жесткость материала при растяжении (сжатии). Из формулы закона Юнга видно, что модуль Юнга измеряется в тех же единицах, что и нормальное напряжение

В своей работе я исследовал изменение модуля Юнга при армировании ячеистого композиционного материала параллельными ребрами из никеля. Исследования упругих свойств композиционного материала показали, что данный материал обладает недостаточными упругими свойствами. Основной моей целью является прогнозирование эффективности армирования композиционного материала на примере изменения упругих свойств КМ.

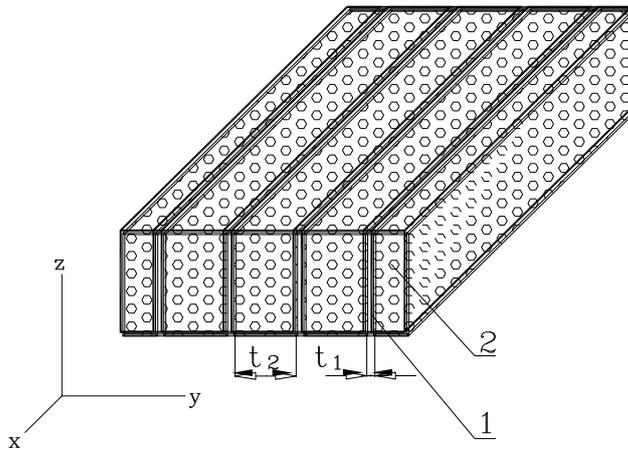


Рис.1. Схемы для расчета упругих свойств армированного системой параллельных ребер КМ, где  $t_1, t_2$  - толщина ребер жесткости, а также расстояние между ними

Модули Юнга и сдвига в различных направлениях и плоскостях армированного КМ возможно рассчитать по приведенным ниже формулам [5]

$$E_x = E_z = \frac{E_1 \cdot t_1 + E_2 \cdot t_2}{t_1 + t_2}, \quad E_y = \frac{t_1 + t_2}{\frac{t_1}{E_1} + \frac{t_2}{E_2}},$$

$$G_{xz} = \frac{G_1 \cdot t_1 + G_2 \cdot t_2}{t_1 + t_2}, \quad G_{yx} = G_{yz} = \frac{t_1 + t_2}{\frac{t_1}{G_1} + \frac{t_2}{G_2}},$$

где  $t_1, t_2$  - толщина ребер жесткости, а также расстояние между ними,  $E_1, G_1, E_2, G_2$  - модуль Юнга и модуль сдвига материала ребер и КМ.(рис.1.)

Значения величин  $E_2$ ,  $G_2$  для КМ были вычислены по нижеследующим формулам [4]

$$E_2 = 0,198 \frac{f_0}{l_0^2} E_1 (1 - \Pi_m)^q, \quad G_2 = 0,064 \frac{f_0}{l_0^2} E_1 (1 - \Pi_m)^q,$$

где  $\Pi_m$  – микропористость материала КМ,  $q = 3$ ,  $l_0$  и  $f_0$  – длина и площадь сечения в центре перемычки КМ.

Значения  $f_0/l_0^2$  зависят от пористости  $\Pi$ , микропористости  $\Pi_m$  и объемной доли поровых каналов  $\rho_k$  КМ [6]:

$$E_x = E_z = E_1 \frac{\frac{t_1}{t_2} + 0,198 \frac{f_0}{l_0^2} (1 - \Pi_m)^q}{\frac{t_1}{t_2} + 1}, \quad E_y = E_1 \frac{\frac{t_1}{t_2} + 1}{\frac{t_1}{t_2} + \frac{5,05 l_0^2}{f_0 (1 - \Pi_m)^q}},$$

$$G_{xz} = \frac{G_1 \frac{t_1}{t_2} + 0,064 E_1 \frac{f_0}{l_0^2} (1 - \Pi_m)^q}{\frac{t_1}{t_2} + 1}, \quad G_{yx} = G_{yz} = \frac{\frac{t_1}{t_2} + 1}{\frac{t_1}{G_1 \cdot t_2} + \frac{15,625 l_0^2}{E_1 f_0 (1 - \Pi_m)^q}}.$$

Зависимость между относительной плотностью композита  $\rho_{км}$ , пористостью ячеистой матрицы  $\Pi$  и отношением толщины ребер жесткости  $t_1/t_2$  оценивается отношением

$$\rho_{км} = 1 - \frac{\Pi}{1 + \frac{t_1}{t_2}}.$$

Из данного отношения можно получить выражения для расчета пористости ячеистой матрицы  $\Pi$ .

$$\Pi = (1 - \rho_{KM}) \cdot \left( \frac{t_1}{t_2} + 1 \right)$$

С помощью графика зависимости можно определить значения  $f_0/l_0^2$ .

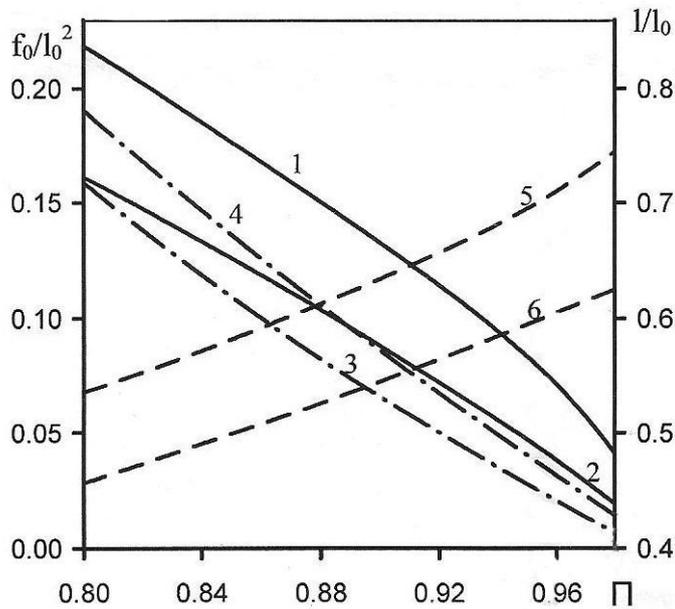


Рис.2. График зависимости значений  $f_0/l_0^2$  от пористости  $\Pi$

Таблица 1. Результаты расчетов упругих свойств КМ.

	Обычный никель	Неармированный КМ	Армированный КМ
модуль Юнга (E)	$200 \cdot 10^9$ Па	$8,51 \cdot 10^9$ Па	$E_x = E_z = 25,92 \cdot 10^9$ Па $E_y = 9,33 \cdot 10^9$ Па
Модуль сдвига (G)	$73 \cdot 10^9$ Па	$2,75 \cdot 10^9$ Па	$G_{xz} = 9,14 \cdot 10^9$ Па $G_{yz} = G_{yx} = 3,02 \cdot 10^9$ Па

### Список литературы:

1. Анциферов В. Н., Данченко Ю. В. и др. Структура, свойства и применение высокопористых проницаемых ячеистых материалов. С. 350 - 351. Порошковая металлургия. Тезисы докладов XV Всесоюзной научно-технической конференции. К.: ИПМ АН УССР, 1985. 440 с.
2. Аполлонов В. В., Грановский М. С., Данченко Ю. В. и др. Высокопористые материалы в лазерной оптике. Проблемы и перспективы. Физико-механические свойства высокопористых материалов. М., 1988. 65 с. (Препринт / ИОФ АН СССР, N 65).
3. Кулаков С. В. Моделирование структуры и расчет упругих и теплофизических свойств высокопористых ячеистых материалов // Проблемы современных материалов и технологий. Пермь, 1992. С.131-149.
4. Кулаков С. В. Моделирование структуры высокопористых проницаемых ячеистых материалов // Перспективные материалы. 2000. № 3. С. 22 – 26.
5. Кулаков С.В. Разработка композиционных материалов на основе высокопористых ячеистых металлов для термонагруженных конструкций. Пермь, 1996.20 с.
6. <http://www.soprotmater.ru/rastyazhenie-i-szhatie/zakon-guka-modulyunga.html>