

Определение и прогнозирование упругого поведения композиционных материалов методом граничных элементов.

Р.С. Пальков
Кафедра МиМ

В данной работе на примере композиционного материала АКП-1ПК-М методом граничных элементов (МГЭ) прогнозируются механические характеристики будущего нанокompозита по свойствам, входящим в его состав компонентов. Рассматривается модель гексагональной области с кремниевыми включениями в матрицу из алюминия. Исследуются случаи, в которых включения имеют широкий диапазон концентрации.

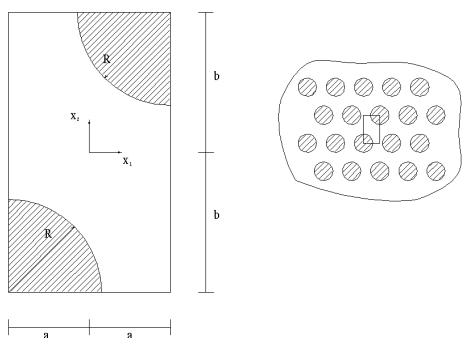
НПЦАП вместе с рядом российских металлургических предприятий разработал композиционный порошковый материал АКП-1ПК на основе алюминия для использования в прецизионных гироблоках вместо бериллия. Новый материал имеет плотность алюминия и коэффициент теплового расширения стали [1].

Задача определения эффективных механических свойств композиционного материала является классическим объектом исследования в науке и инженерии.

МГЭ позволяет точно вычислять эффективные упругие свойства композитных материалов. Для определения соотношений между заданными деформациями и соответствующими средними значениями напряжений необходимо решить две краевые задачи для упругого включения, описанные ниже. МГЭ идеально подходит для этого, так как вся информация относительно эффективных свойств доступна на границе упругой области.

Для композиционной задачи гранично-элементное уравнение составляется вдоль внешней границы матрицы, внешней границы волокон и поверхности стыковки матрицы - волокно. Непрерывность смещений и усилий накладывается на всей поверхности сопряжения матрицы – волокно [2].

На рис. 1 показана единичная ячейка, используемая для данной гексагональной области. Существуют многочисленные варианты выбора геометрии единичной ячейки. Мы выбираем максимально удобный вариант для определения граничных напряжений и смещений.



Единичная ячейка это прямоугольник с размерами $2a \times 2b$ с $b = \sqrt{3}a$. Две четверти круглых упругих включений (волокон) радиуса R показаны на рисунке штриховкой. Введем прямоугольные координаты с началом в центре ячейки.

Двухмерный объёмный модуль и модуль сдвига были вычислены после решения двух фундаментальных краевых задач с предписанными средними напряжениями и деформациями.

РИС. 1. Единичная ячейка гексагональной структуры

По данному алгоритму была составлена программа и проведены математическое моделирование и расчеты. Результаты обрабатывались в программе MATLAB. В таблице 1 представлены результаты для различных концентраций включения $0 \leq \phi_2 \leq 0,85$. На рис. 2 приведены графики зависимости эффективных упругих модулей (E_e/E_1 , G_e/G_1 , k_e/k_1) от концентрации для включений.

Таблица 1 результаты вычислений эффективных упругих модулей

ϕ_2	E_e/E_1	G_e/G_1	k_e/k_1	ν_e
0.1	1.03902	1.04701	1.01482	0.50359
0.2	1.07820	1.09819	1.02019	0.48759
0.3	1.12000	1.15219	1.03017	0.47286
0.4	1.16588	1.21026	1.04599	0.45958

0.5	1.21146	1.26915	1.06079	0.44628
0.6	1.26254	1.33899	1.07138	0.41864
0.7	1.31486	1.40724	1.09102	0.41568
0.8	1.36812	1.48351	1.10060	0.3973
0.85	1.39376	1.52195	1.10333	0.38753

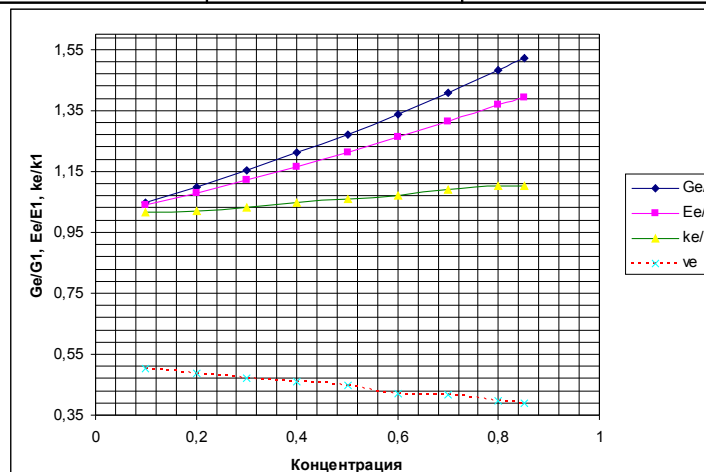


РИС. 2. График зависимости E_e/E_1 , G_e/G_1 , k_e/k_1 , ν_e от концентрации включений

На приведенном графике (рис. 2) видно, как изменяются эффективные упругие модули (E_e/E_1 , G_e/G_1 , k_e/k_1 , ν_e) композиционного материала, состоящего из гексагональных структур включений круглой формы, внедренных в матрицу. При увеличении концентрации происходит увеличение E_e/E_1 , G_e/G_1 , k_e/k_1 , в то время как значение ν_e снижается.

Список литературы

- [1]. Композиционный порошковый материал АКП-1ПК [Электронный ресурс]/ Режим доступа URL: http://www.npcap.ru/index.php?page_id=49#apk (дата обращения 05.01.2012).
- [2]. А.А. Becker, The Boundary Element Method in Engineering (McGraw-Hill, New York, 1992).