

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО КЕРАМИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА

В. А. Зими́на*, И. Ю. Смо́лин

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634055, пр-т. Академический, 2/4, г. Томск, Россия
miva@ispms.ru, smolin@ispms.ru

Введение

Известно, что многокомпонентные композиты обеспечивают лучшие характеристики и даже новые свойства по сравнению с двухфазными композитами. В связи с этим представляет интерес изучение механических свойств и особенностей разрушения этих материалов при различных внешних воздействиях. В работе численно исследованы упругие и прочностные характеристики трехкомпонентного композита $Al_2O_3-ZrB_2-SiC$ в условиях одноосного растяжения.

Цель исследования: численная оценка упругих свойств и механических характеристик трехфазного керамического композита $Al_2O_3-ZrB_2-SiC$ с учетом особенностей его структуры.

Постановка задачи

Математическая постановка:

- Закон сохранения массы: $\rho V = \rho_0 V_0$
- Закон сохранения количества движения: $\rho \frac{dv_i}{dt} = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x^j}$
- Геометрические соотношения: $\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x^j} + \frac{\partial v_j}{\partial x^i} \right)$ $\dot{\omega}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x^j} - \frac{\partial v_j}{\partial x^i} \right)$
- Определяющие соотношения для описания упругого отклика:
 $\dot{P} = -K(\dot{\theta}^T - \dot{\theta}^P)$, $\dot{s}_{ij} = 2G \left[\dot{\epsilon}_{ij}^T - \dot{\epsilon}_{ij}^P - \frac{1}{3}(\dot{\theta}^T - \dot{\theta}^P)\delta_{ij} \right] - s_{ik}\dot{\omega}_{kj} + s_{kj}\dot{\omega}_{ik}$, $\dot{\theta}^T = \dot{\epsilon}_{ii}^T$,
 $\dot{\theta}^P = \dot{\epsilon}_{ii}^P$
- Определяющие соотношения для описания неупругого отклика:
 $f(\sigma_{ij}) = -\alpha P + \sqrt{J_2} - Y$ $\dot{\epsilon}_{ij}^P = \lambda \frac{\partial g(\sigma_{ij})}{\partial \sigma_{ij}}$ $g(\sigma_{ij}) = \sqrt{J_2} - \beta P$

Критерии разрушения:

- По накопленной неупругой деформации: $\epsilon^P \geq \epsilon_{cr}$
- По растягивающему давлению: $P < P_{cr} < 0$

Компьютерная модель:

Объект исследования: композит $Al_2O_3-ZrB_2-SiC$.

Представительный объем трехкомпонентного керамического композита построен на основе РЭМ изображении композита, микроструктура которого состоит из матрицы Al_2O_3 , включений двух фаз ZrB_2 и SiC и пор.

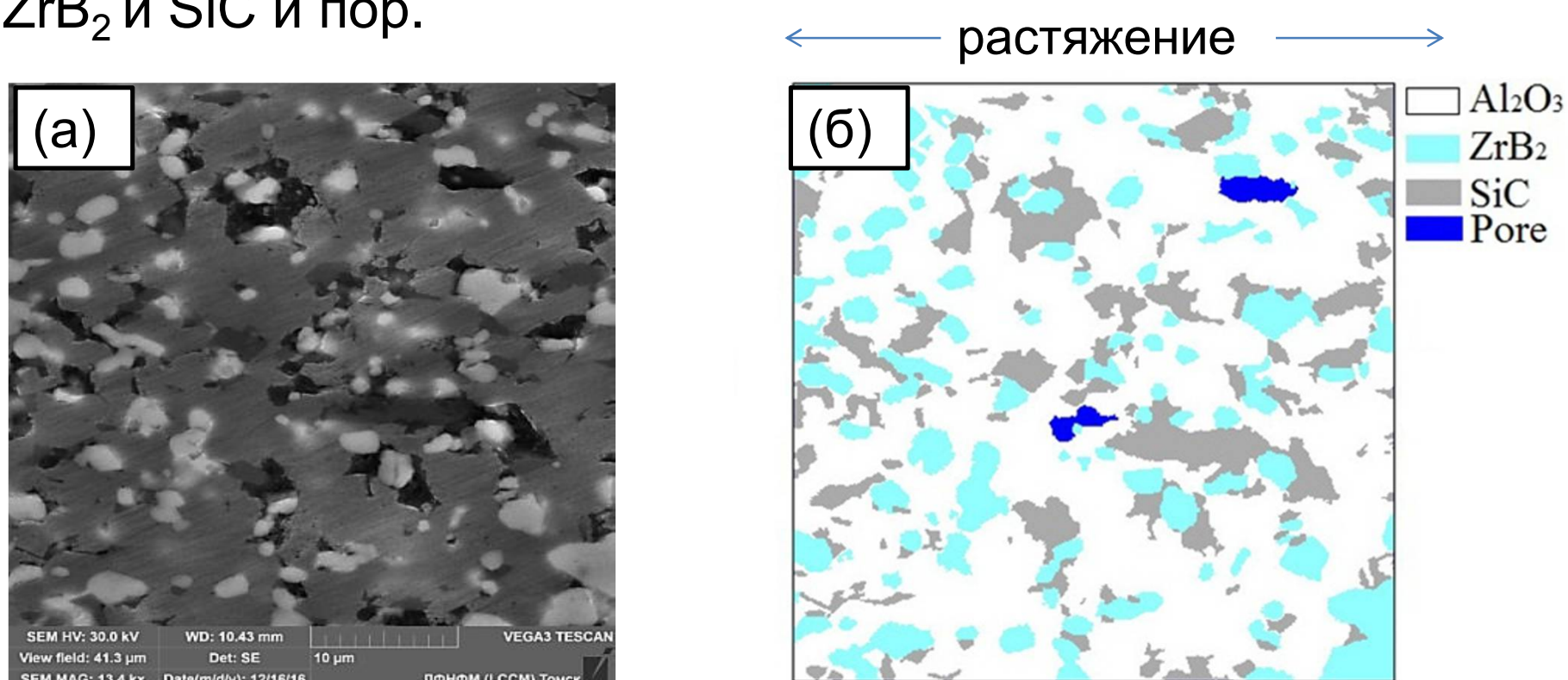


Рис. 1. РЭМ изображение композита (а) и модель трехкомпонентного керамического композита (б)

Таблица 1. Механические свойства компонент композита

Материал	Объемная доля, %	Модуль объемной упругости, К GPa	Модуль сдвига, G GPa	Когезия, Y MPa	Коэффициент внутреннего трения, α
Al_2O_3	65.8	324	165	1700	0.4
ZrB_2	17.8	227	215	1000	0.52
SiC	15.6	205	183	2200	0.48

Результаты моделирования

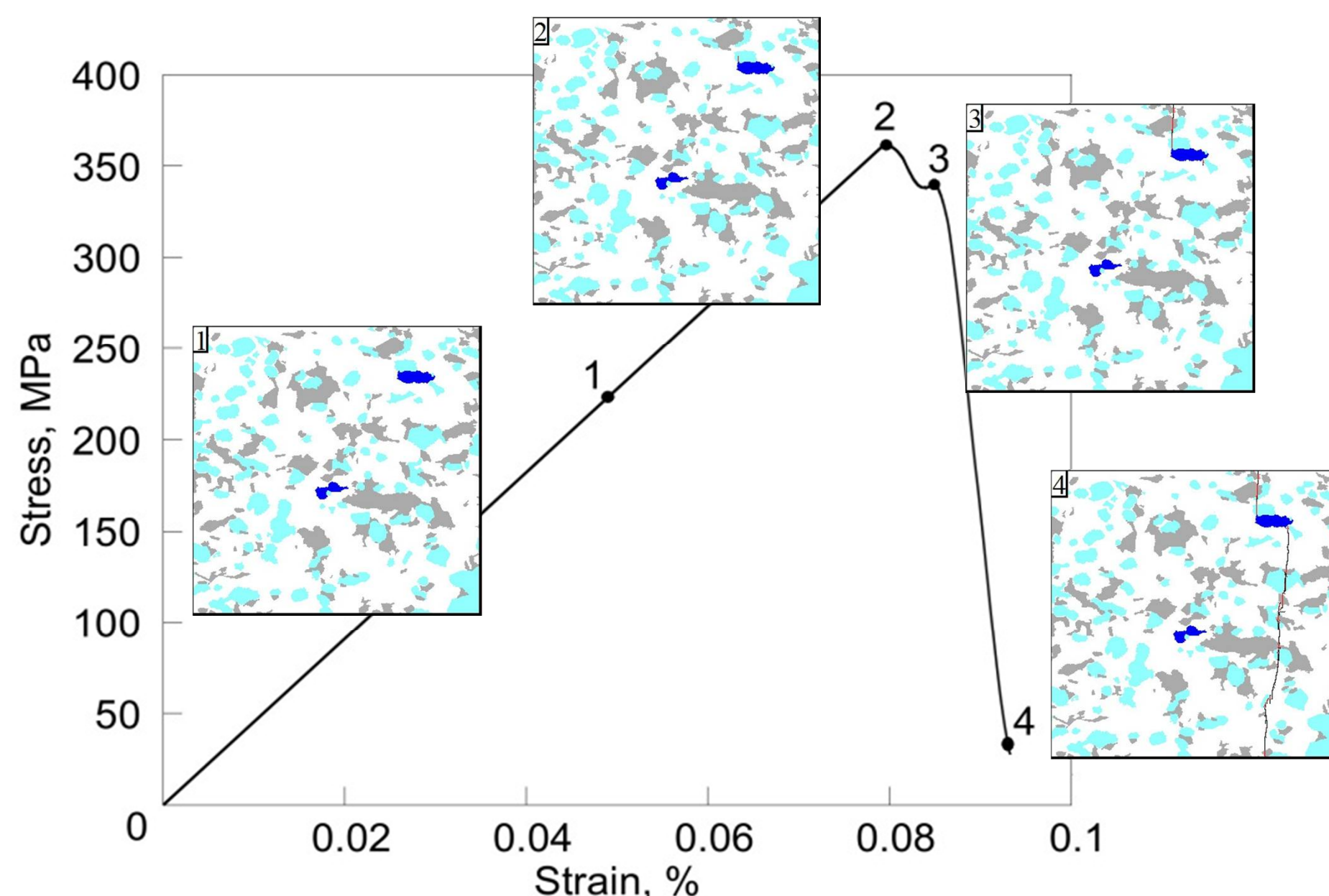


Рис. 2. Численная диаграмма нагружения трехкомпонентного композита и картины разрушения представительных объемов на различных этапах деформирования

Влияние доли включений SiC на эффективные упругие свойства композита $Al_2O_3-ZrB_2-SiC$

Исследуемая объемная доля SiC : 0; 4; 8; 12; 16; 20; 34 %.

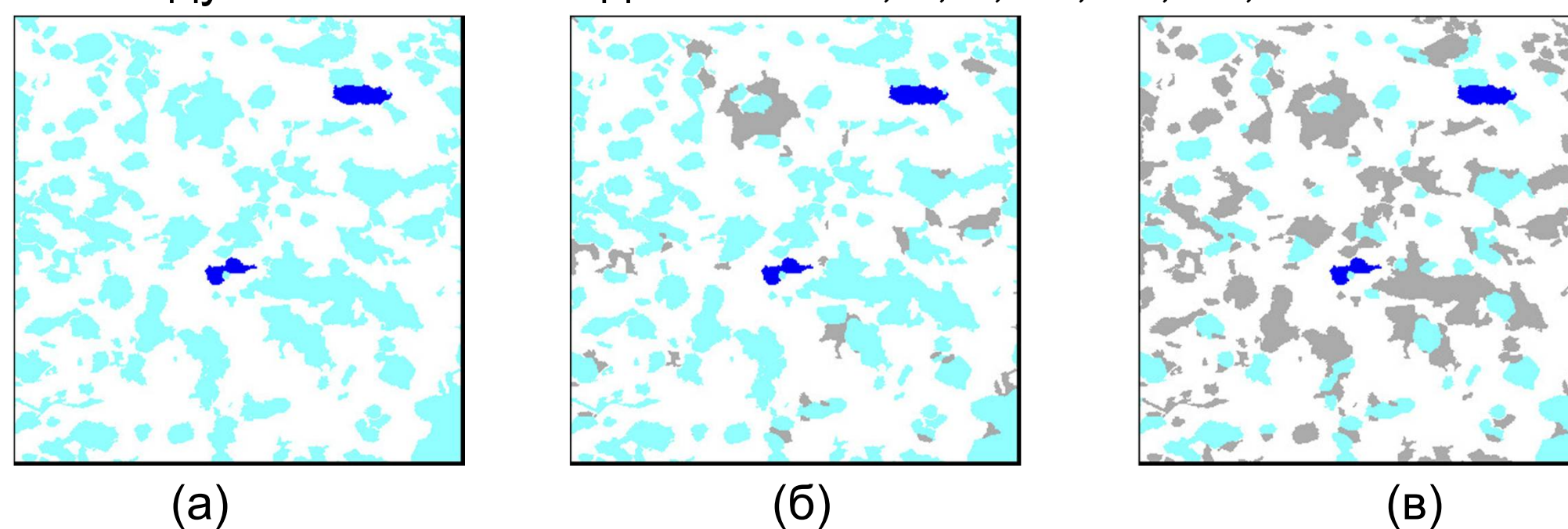


Рис. 3. Представительные объемы трехкомпонентного композита с различной объемной долей включений SiC : (а) 0 %, (б) 4 %, (в) 20 %

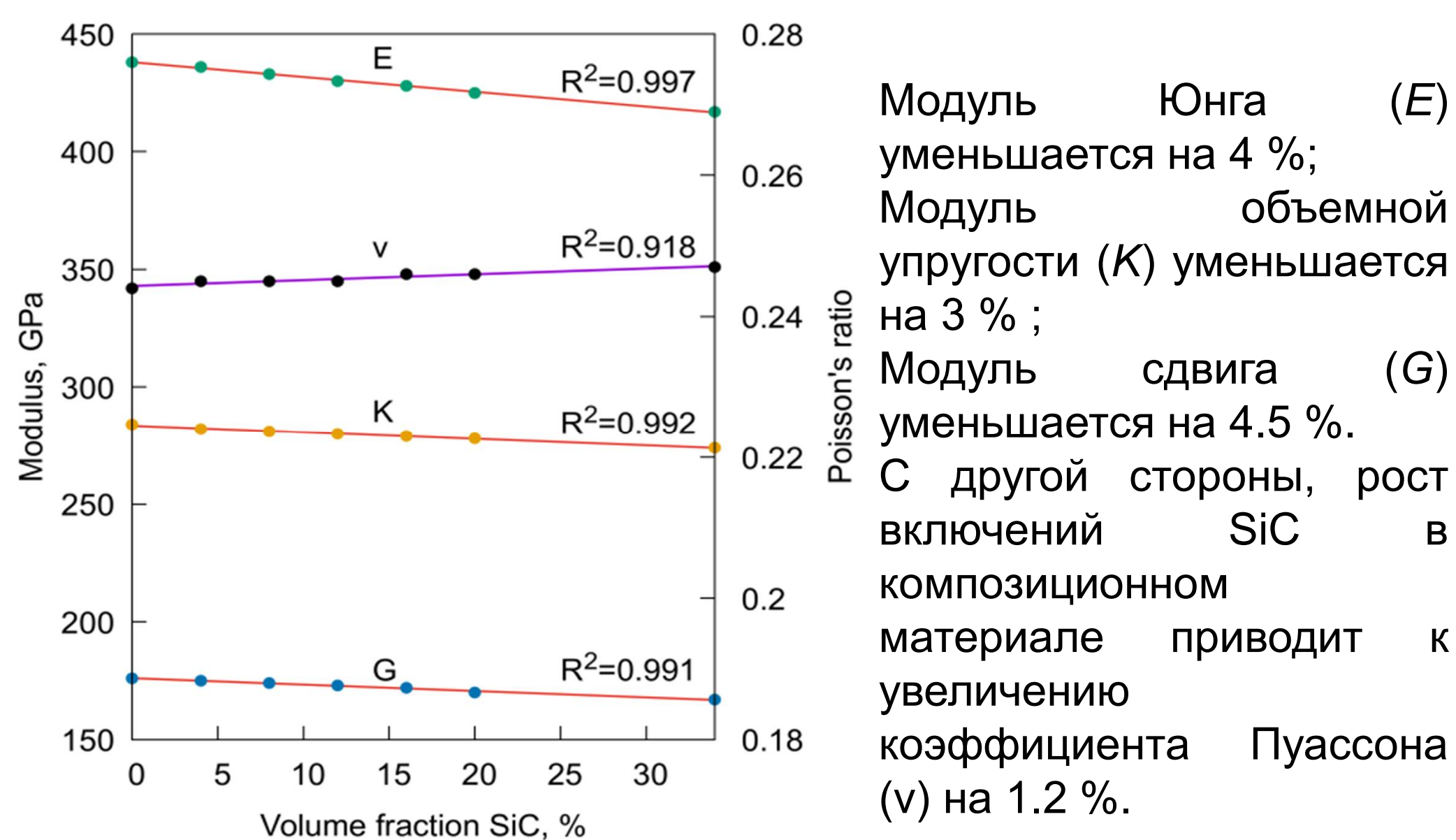


Рис. 4. Зависимости упругих модулей от объемной доли включений SiC в композите $Al_2O_3-ZrB_2-SiC$

Модуль Юнга (E) уменьшается на 4 %;
Модуль объемной упругости (K) уменьшается на 3 %;
Модуль сдвига (G) уменьшается на 4.5 %.
С другой стороны, рост включений SiC в композиционном материале приводит к увеличению коэффициента Пуассона (ν) на 1.2 %.

Заключение

Показано, что трещины зарождаются в областях с высокой концентрацией напряжений, обусловленной формой и расположением пор. Разрушение в матрице Al_2O_3 происходит под действием растягивающего давления, в то время как во включениях – при накоплении неупругой деформации. Изучено влияние доли включений SiC в диапазоне от 0 до 34 % на эффективные упругие свойства композиционного материала. Отмечается слабая зависимость модулей упругости от увеличения объемной доли SiC в рассматриваемом диапазоне.