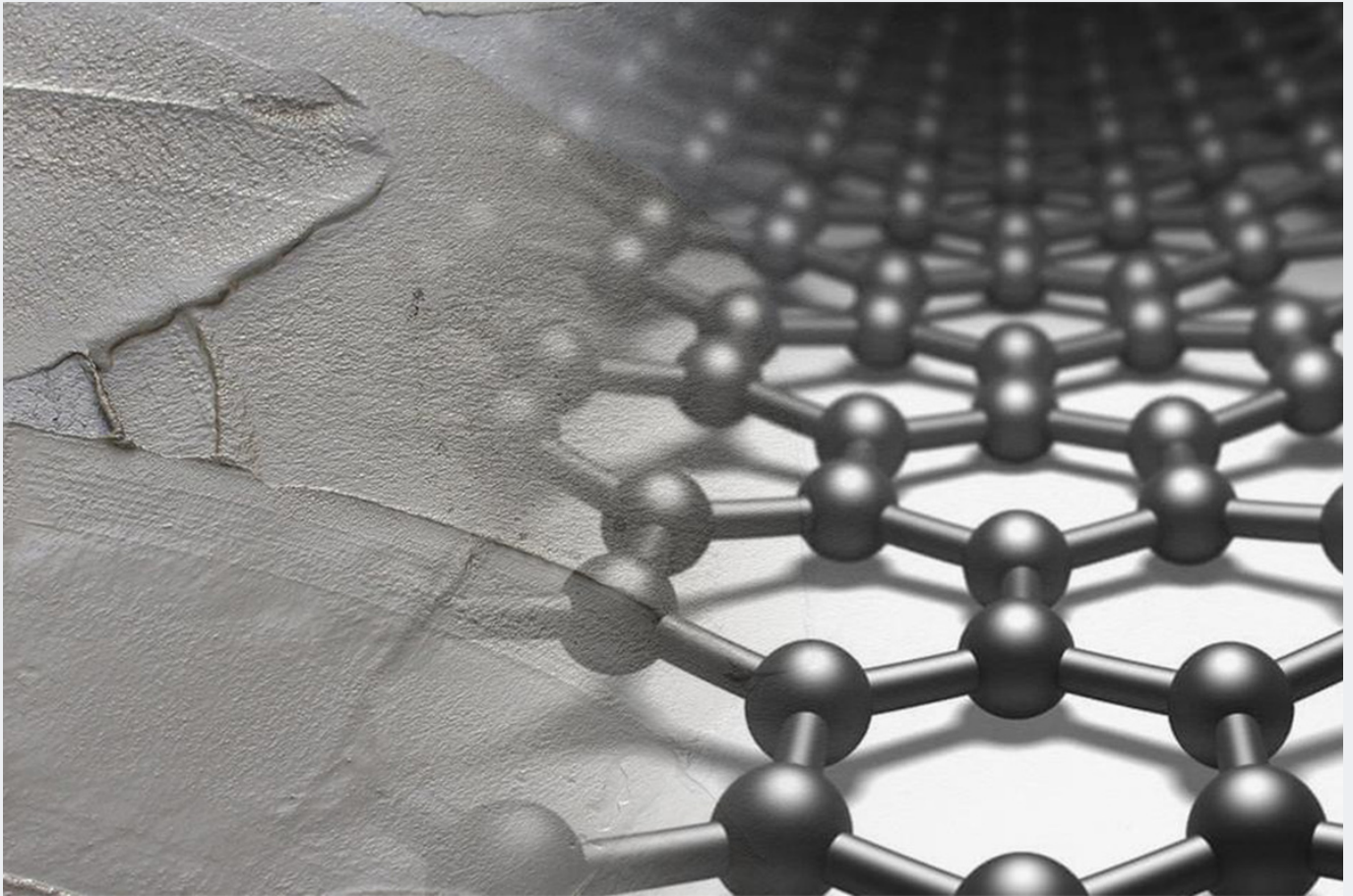


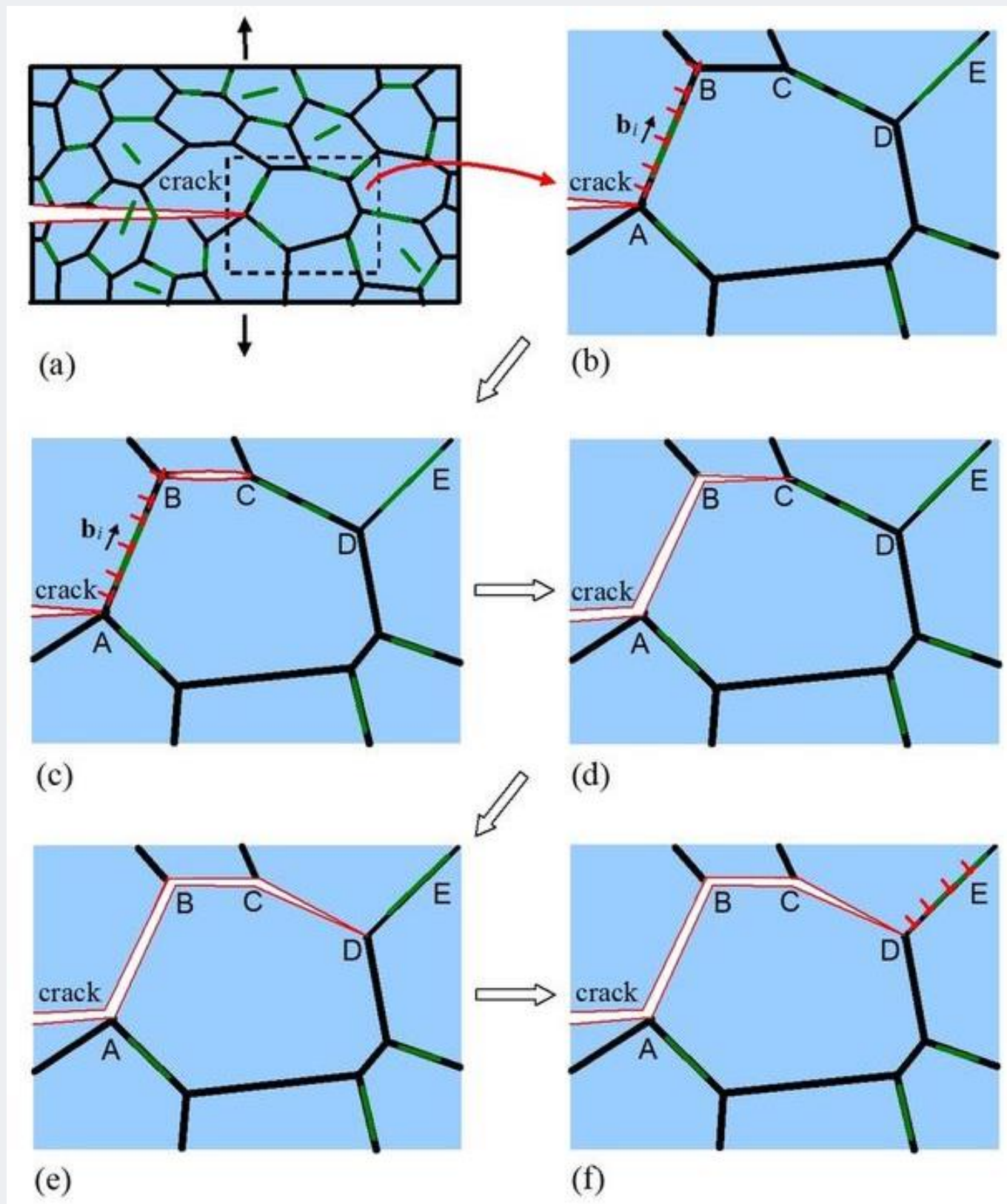
В композитах из керамики и графена политехники нашли слабые места



Российские физики и материаловеды выяснили, в какой структуре наноматериалов из керамики и пластин графена чаще образуются трещины. Результаты первого испытания модели, которая описывает найденную закономерность, ██████████ в *Mechanics of Materials*.

Графен — самая легкая и прочная из известных модификаций углерода, кроме того обладающая высокой электропроводимостью. Благодаря этим свойствам графен часто включают в состав новых материалов на основе керамики. Сама по себе керамика устойчива к высоким температурам, а с добавлением углеродной модификации композиты становятся многофункциональными. В перспективе их можно применить в производстве гибких электронных устройств, сенсоров, в строительстве и авиации.

Из многочисленных экспериментальных исследований таких композитов известно, что их механические свойства определяются долей графена в составе и размерами графеновых пластин, распределенных в керамической матрице. Например, при низких концентрациях графена высокую трещиностойкость материала обеспечивают длинные пластины. Однако в одном из недавних экспериментов по синтезу материалов из алюмооксидной керамики и графена был показан противоположный эффект: чем больше размер пластин, тем ниже оказывалась трещиностойкость. Исследователи из Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Института проблем машиноведения РАН, СПбГУ и Университета ИТМО, поддержанные грантом Российского научного фонда, разработали теоретическую модель для объяснения этого парадокса.



Распространение трещины по границам зерен в композите. Зелеными линиями обозначены пластины графена

Специалисты Центра НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» предположили, что образование в композитах трещин связано с границами так называемых зерен керамики — микроскопических кристаллов, из которых состоит материал. Графеновые пластинки в композитах могут располагаться как на границах зерен, так и внутри них. При растяжении нанокристаллического материала зерна скользят относительно друг друга, и трещины распространяются по их границам. Почему же в одних случаях включения графена тормозят этот процесс, а в других — нет? Чтобы найти ответ, авторы построили математическую модель, учитывающую нагрузку при растяжении, силу трения, показатели упругости материала, а также отношение размеров зерен и графеновых пластинок. С помощью модели ученые рассчитали для трех разных композитов критические значения коэффициента интенсивности напряжений. При превышении этих значений в материале распространяются трещины. Композиты отличались размерами зерна керамики (от 1,23 до 1,58 мкм), а также длиной (от 193 до 1070 нм) и шириной (от 109 до 545 нм) графеновых пластинок.

Выяснилось, что чем ближе длина графеновой пластины к длине границы зерен, тем ниже критическое значение коэффициента интенсивности напряжений. Разница значений для разных материалов достигает 20%. Это совпало с опубликованными ранее экспериментальными данными: именно при близких к друг другу размерах границы зерна и графеновой пластины трещиностойкость материала падала. Получается, чтобы материал был достаточно прочным, графеновые пластины должны быть существенно меньше, чем керамические зерна.

«Найденная закономерность справедлива для мелкозернистой керамики, а ведь именно за счет уменьшения размера зерна создатели новых керамических композитов расширяют их функциональность. При этом эффекты от измельчения зерен могут быть противоречивыми, например твердость повышается, но материал становится более хрупким. Наша модель поможет подбирать соотношения размеров графеновых пластин и зерен керамики, обеспечивающие лучшие механические и функциональные свойства», — отметил заведующий научно-исследовательской лабораторией «Механика новых наноматериалов» Центра НТИ СПбПУ ██████████.