

КОМПОЗИТНЫЕ ОКСИДНЫЕ ВОЛОКНА И КОМПОЗИТЫ С ХРУПКИМИ МАТРИЦАМИ НА ИХ ОСНОВЕ

Кийко В.М., Новохатская Н.И.

Институт физики твердого тела РАН,
г. Черноголовка Московской области, Россия, kiiko@issp.ac.ru

Современные требования к конструкционным материалам, в частности, композитным жаропрочным материалам, разрабатываемым для работы в широком диапазоне температур, приводят к необходимости включения в структуру материалов соединений в качестве основных компонентов структуры, ранее обычно не используемых. Многие из этих соединений, прочных и оказывающих значительное сопротивление ползучести при высоких температурах, являются хрупкими. При этом возникает проблема обеспечения общего нехрупкого поведения материала, содержащего хрупкие компоненты. Известно, что волокнистые композиты с хрупкими компонентами могут демонстрировать нехрупкое «квазипластичное» поведение. Обычно это достигается организацией относительно слабых поверхностей раздела между волокнами и матрицей, которые тормозят распространение трещин в композитной структуре по механизму, описанному в работе [1]. Такая возможность, как правило, реализуется за счет специальных покрытий на волокне, обеспечивающих необходимые характеристики границы раздела волокно–матрица. Процедура нанесения покрытий приводит к усложнению изготовления композитов и возрастанию их стоимости. Для армирования композитов с хрупкими матрицами в настоящей работе предлагается использовать оксидные композитные волокна, получаемые методом внутренней кристаллизации [2], в состав которых в качестве компонентов входят высокопрочный сапфир и гексаалюминат кальция или бария, наличие «слабых» плоскостей в кристаллической структуре последних в состоянии обеспечить «квазипластическое» поведение композита в целом. Волокна изготавливаются из исходных смесей оксидов алюминия, кальция или бария различных весовых составов, обеспечивающих нужные характеристики. На рис. 1 показаны волокна из «чистых» гексаалюминатов, а на рис. 2а, 3б и 4 волокна, имеющие композитную структуру.

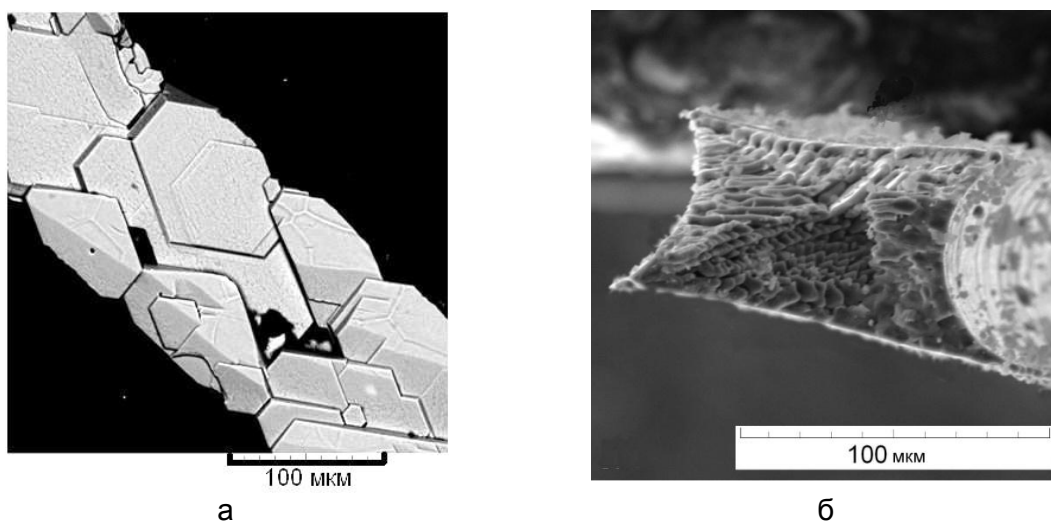


Рисунок 1 - а – боковая поверхность волокна из гексаалюмината кальция, б – поверхность излома волокна из гексаалюмината бария

В качестве примера на рис. 2б показаны результаты испытаний партии волокон на прочность по методике работы [3]. Для получения величины прочности значение предельной деформации следует умножить на величину модуля Юнга

614

материала волокна. При оценочной величине модуля Юнга 400 ГПа для партии волокон, показанной на рис. 2, величина прочности на длине 1 мм превышает 1000 МПа.

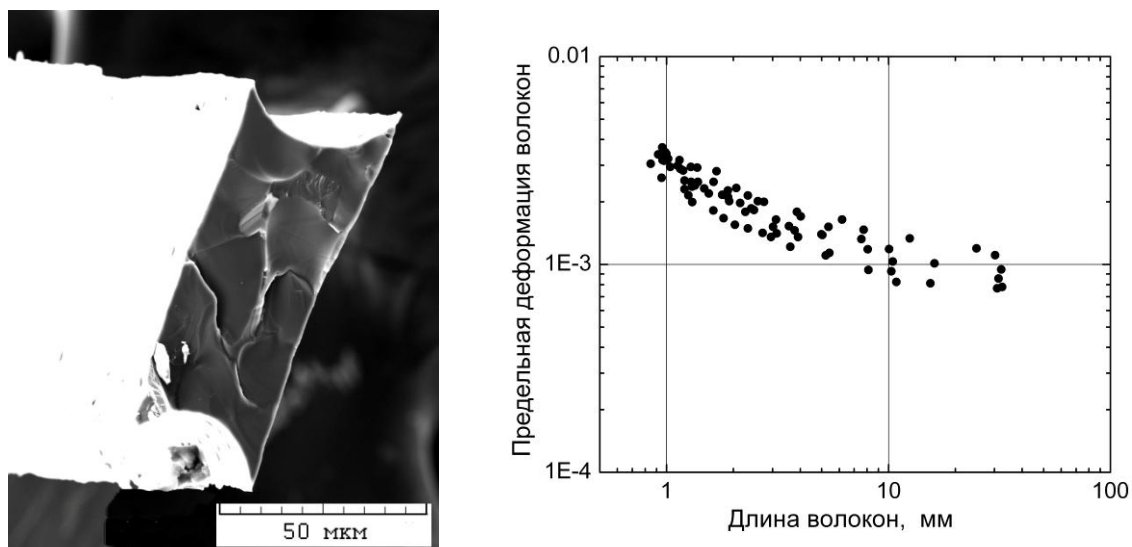


Рисунок 2 - Поверхность излома одного из волокон (а) испытанной партии (б) с исходным составом $\text{Al}_2\text{O}_3 - 4.2\text{вес.}\% \text{CaO}$

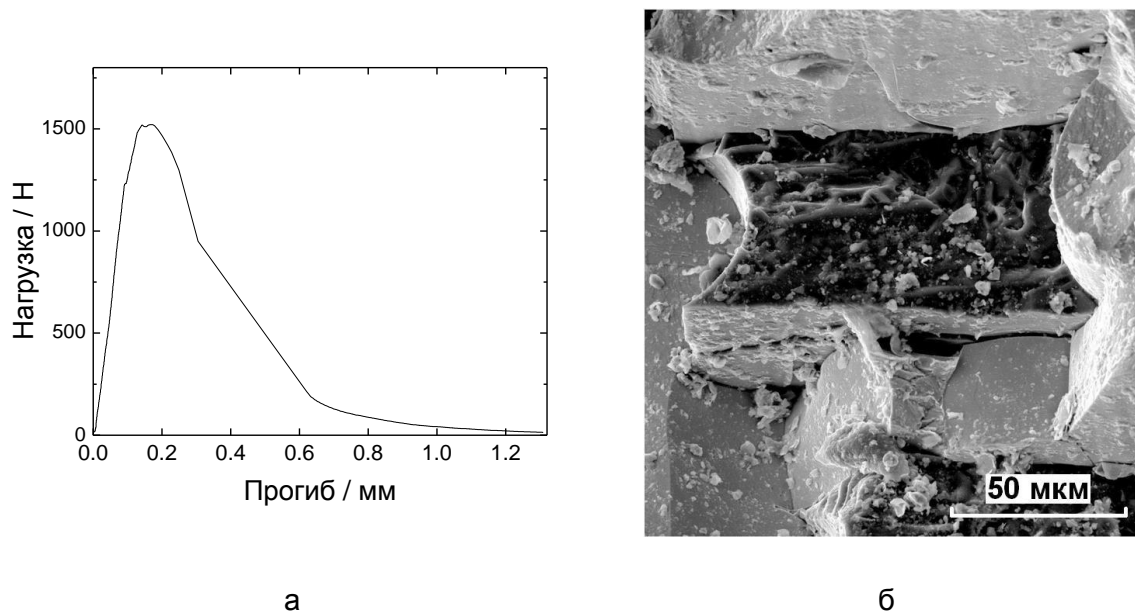


Рисунок 3 - Результаты испытаний на трещиностойкость при трехточечном изгибе композитного образца с волокнами исходного состава $\text{Al}_2\text{O}_3 - 3.2\text{вес.}\% \text{CaO}$ и матрицей из хрупкого рекристаллизованного молибдена: зависимость прогиба образца от нагрузки, критический коэффициент интенсивности $K^*=22 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ (а); участок поверхности разрушения, – композитное волокно (в центре), окруженное матрицей (б)

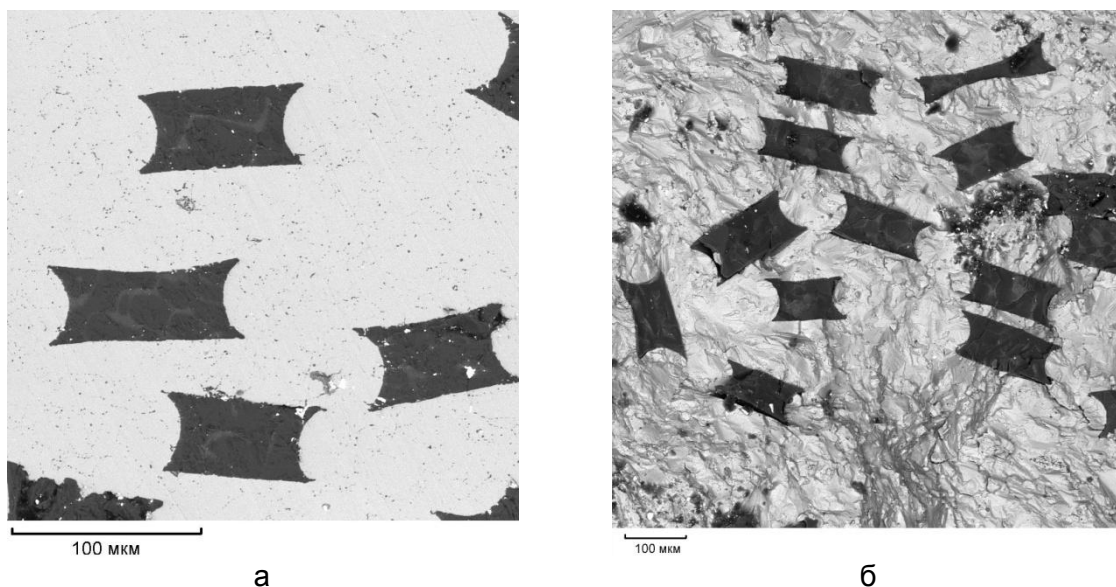


Рисунок 4 - Поперечное сечение (в сечениях волокон темно-серого цвета – оксид алюминия, светло-серого цвета – кальций содержащие оксиды) (а) и поверхность разрушения композита с оксидными композитными волокнами исходного состава $Al_2O_3 - 4.2\text{вес.}\%CaO$ и NiAl-матрицей (б), прочность композита 320 МПа; матрица – белого цвета

Из различных исходных весовых составов смесей оксидов алюминия и кальция методом внутренней кристаллизации получены композитные волокна, обеспечивающие приемлемые трещиностойкость и прочность композитов с хрупкими матрицами из рекристаллизованного молибдена (рис. 3), оксида алюминия, и интерметаллидов никель-алюминия (рис. 4) и ниобий-три-алюминия. Композиты с молибденовой матрицей получены методом внутренней кристаллизации, а с оксидной и интерметаллидными матрицами – горячим прессованием однонаправленных оксидных композитных волокон с материалами матриц в виде порошков. В результате формируются иерархически организованные композитные структуры. Достижение необходимой трещиностойкости в процессе разрушения таких структур обеспечивается расслоениями по границам компонентов композитной структуры волокон, границам раздела волокно-матрица перед кончиком распространяющейся трещины, обеспечивая ее затупление, «ветвлением» трещины, множественными обрывами волокон с развитой поверхностью разрушения, вытягиванием волокон из матрицы с трением по границе раздела. В результате из хрупких компонентов получают волокнистые композиты с нехрупкими характеристиками.

Литература.

1. J. Cook, J.E. Gordon. A mechanism for the control of crack propagation in all-brittle systems. Proceedings of the Royal Society A, 1964, v. 282, iss. 8, pp. 508–520.
2. С.Т. Милейко, В.И. Казьмин. Получение композитов методом внутренней кристаллизации. Механика композитных материалов, 1991, № 5, с. 898–908.
3. V.M. Kiiiko, S.T. Mileiko. Evaluation of room temperature strength of oxide fibres produced by the internal crystallization method. Composites Science and Technology, 1999, v. 59, iss. 13, pp. 1977–1981.