

Элементы и устройства электронно-вычислительных средств

Руководитель программы д.т.н., проф. Брусенцов Ю. А.

Попов А. В., Попов В. Ф., Шелохвостов В. П.

МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ОБРАЗЦОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ КОНГЛАМЕРАТОВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОВОЛОКОН

Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Попова В.Ф.

ТГТУ, Кафедра «Материалы и технология»

В данной работе предпринята попытка создания нового композитного материала, полученного методом порошковой металлургии из медного порошка и армированного углеродными нановолокнами в виде конгломератов. Показано, что наличие включений нановолокон увеличивает прочностные характеристики в локальных участках, непосредственно примыкающих к конгломерату, примерно на 40% по сравнению с матричными участками. Данный эффект объясняется с позиций дислокационной теории. В работе используется широкий спектр современного экспериментального оборудования. Развитие материалов с новыми свойствами в значительной мере связано с прогрессом в области создания нанообъектов. Однако их большая удельная стоимость в значительной мере ограничивает создание деталей, целиком состоящей из подобных структур. В этой связи весьма перспективным представляются способы изготовления элементов конструкций из композитных материалов, в которых традиционные составляющие армированы объектами наноразмерных масштабов.

Образцы диаметром $16 \cdot 10^{-3}$ м и толщиной $2 \cdot 10^{-3}$ м изготавливались из медного порошка дисперсностью 0,1 мкм. Нановолокна получались методом каталитического пиролиза метана, в котором возможно реализовать гибкое и раздельное управление условиями образования нанообъектов.

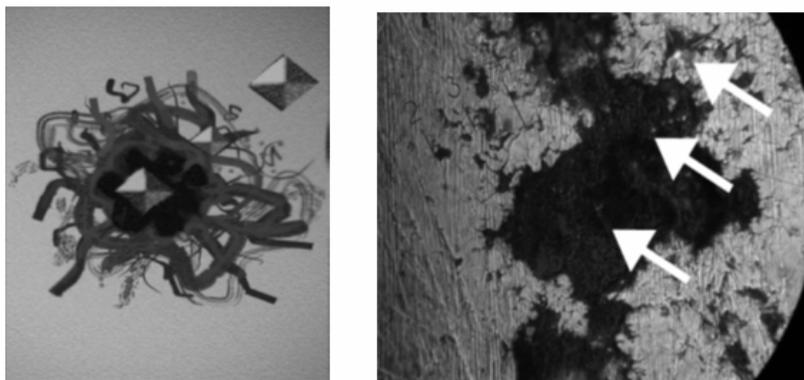
В качестве катализатора использовался порошок никеля, который находился в реакторе на кварцевом поддоне, установленном на весах. Время разогрева реактора составляло 40 мин. Далее при температуре 600°C происходил пиролиз углеводорода и образование на частицах металла нановолокон в виде конгломератов нанотрубок. Диаметр каждой нанотрубки не превышал нескольких десятков нанометров. Отработанный газ затем выводился из реактора. Время протекания процесса при рабочей температуре составляло 1 час.

Для изготовления образцов использовался медный порошок с дисперсностью 0,1 мм. Его смешивали с нановолокнами в различных весовых соотношениях в контейнере, выполненном из фторопласта, содержащем мелющие тела, представляющие собой шарики диаметром 6 мм, выполненные из меди.

Время смешивания составляло 1 час. На следующем этапе происходил процесс прессования образцов в специальной пресс-форме, состоящей из матрицы 1, и двух пуансонов. Прессование извлеченной из контейнера смеси осуществлялось на гидравлическом прессе с давлением $3 \cdot 10^8$ Па. Изготовленные образцы диаметром 16 мм и высотой 5 мм подвергались спеканию в вакуумной печи СНВЭ-1,3/16-44 УХЛ 4.1 при вакууме $\sim 1 \cdot 10^{-3}$ Па.

Спекание проводилось при температуре 800°C в течении 3 часов. В результате получались образцы новых материалов для дальнейших исследований.

Целью микромеханических испытаний являлось выявление прочностных свойств локальных участков композита, непосредственно в районе контакта медь – конгломерат нановолокон. Для этого использовался микротвердомер ПМТ-3.



а)

б)

Рис. 1. К описанию методики микромеханических испытаний:

а) схема испытаний; б) фотография поля испытаний ($\times 600$)

При вдавливании алмазной пирамидки в образце происходила пластическая деформация и образовывался отпечаток. Мерой твердости в этом методе являлась площадь поверхности отпечатка.

Микротвердость вычислялась по формуле

$$H_{\mu} = \frac{P}{F_{omn}} = 2 \frac{P}{a^2} \sin \frac{\alpha}{2} = 18,54 \frac{P}{a^2} \frac{MH}{M^2},$$

где P - нагрузка на индентор, H (нагрузка на индентор P составляла $0,2H$), $\alpha = 136^{\circ}$ - угол при вершине алмазной пирамидки, a - размер диагонали отпечатка.

Конгломерат представляет собой фрактальный объект, поэтому представлялось рациональным провести первое испытание в центральной части конгломерата (данный отпечаток выполнял роль отправной точки). Следующее испытание, т.е. создание отпечатка индентора проводились на определенном расстоянии и т.д. В результате получалась цепочка отпечатков (рис.1б, края отпечатков обозначены стрелками). По результатам испытаний определялось число твердости H_{μ} и строился график распределения микротвердости по расстоянию от отправной точки (рис. 2).

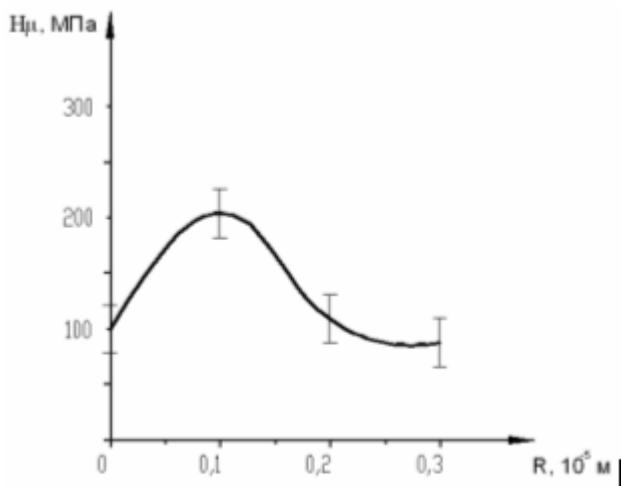


Рис. 2. Распределение числа твердости H_{μ} по расстоянию от центрального отпечатка

Из рис. 2 видно, что максимум кривой соответствует $\approx 1 \cdot 10^{-7}$ м от центрального отпечатка, что соответствует периферийной части конгломерата ноноволокон.

Это значение представляется вполне объяснимым в рамках классической теории дислокаций, если мы представим себе структуру углеродного конгломерата.

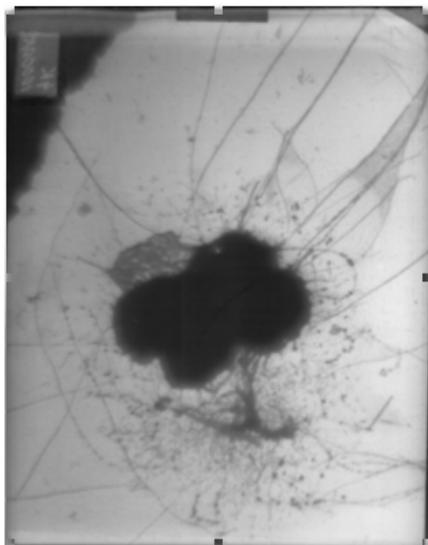


Рис. 3. Конгломерат нановолокон ($\times 10000$)

На рис. 3 представлена фотография подобного объекта, полученная с помощью электронного микроскопа ЭМВ-100А. Из нее следует, что он выглядит как довольно плотный «клубок» нановолокон, а его периферия - это в основном пучки переплетенных и единичных нанотрубок.

Во время испытания на микротвердость при вдавливании алмазной пирамидки происходила пластическая деформация в области, непосредственно примыкающей к району испытания. Как известно, она представляет собой ни что иное, как движение дислокаций. Их распространение происходило сравнительно легко в довольно мягкой медной составляющей спеченного композита. Доходя до нанотрубок, дислокации тормозились в своем движении. Этот процесс неминуемо сопровождался увеличением плотности дислокаций у подобных «барьеров», что в свою очередь приводило к увеличению прочности и, как следствие, к возрастанию микротвердости, что и фиксировалось во время проведения опытов.

Подобный процесс реализуется тем более активно, если принять во внимание то обстоятельство, что нановолокна в диаметре сравнимы по размерам с размерами дислокаций. Процесс упрочнения традиционных порошковых материалов на стадии их изготовления представляется в

этой связи довольно перспективным. При том условии, что отдельные нанотрубки равномерно распределены по всему объему детали, они являются весьма дисперсными барьерами на пути движения дислокаций. Если преодолеть технологические трудности в процессе получения обособленных углеродных нанообъектов в промышленном количестве по доступным ценам, откроется перспектива создания нового класса порошковых материалов – с заранее запланированной плотностью упрочняющих нановключений.

Список литературы

1. Либерсон Г. А. Процессы порошковой металлургии: В 2Т: Учебник для вузов, Т.2: Формования и спекание./ Г.А. Либерсон, В.Ю. Лопатин, Г.В. Комарницкий. – М.:МИСИС, 20001, 320с., ил.
2. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований./ Под. Ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса и П. Аливисатоса. Пер. с англ. – М.: Мир 2002. – 292 с., ил.