

В.М. КЕТОВ, научн. сотруду., **Е.И. ДЕМЧЕНКО**, научн. сотруду.,
А.А. ВНУКОВ, научн. сотруду., Национальная металлургическая
академия Украины, г. Днепропетровск, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЕЧЕННЫХ КОМПОЗИТОВ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ

У роботі розглянута можливість використання омедненого залізного порошку як основа для отримання дисперсно-зміцненого композиту. Як упрочнителя композиту використовували вуглецеві нанотрубки. Проведено порівняння властивостей отриманого композиту з матеріалом аналогічного складу, отриманого шляхом механічного змішування залізного порошку і порошку міді.

The paper considers the possibility of using copper covered iron powder as a basis for obtaining dispersion-hardened composite. As hardeners of composite used carbon nanotubes. A comparison of the properties of the composites with the material of similar composition obtained by mechanically mixing iron powder and copper powder.

Постановка проблемы. Углеродные нанотрубки (УНТ) благодаря своим высоким механическим свойствам и малым (наномерным) размерам вызывают интерес при использовании их в качестве упрочнителя для дисперсно-упрочненных материалов с металлической матрицей [1].

При введении УНТ в качестве дисперсного упрочнителя в материалы на основе железа существует вероятность возникновения термодинамической неустойчивости системы, при этом углерод из УНТ может стремиться перейти в твердый раствор во время спекания с разрушением структуры УНТ.

Известно [2], что целью их защиты от растворения в металлической агрессивной матрице используют металлические покрытия на УНТ, в том числе и медное.

Авторами разработан метод получения омедненого железного порошка, как альтернативы традиционному способу легирования спеченных конструкционных материалов на основе железа медью.

В этом случае наличие меди на поверхности частиц железного порошка тормозит диффузию углерода в железо в процессе спекания (медь не образует твердых растворов с углеродом, снижает концентрацию углерода в перлите и сдвигает точки *S* и *E* на диаграмме железо-углерод влево [3]).

Авторами данной работы предложено использование железного порошка с медным покрытием как основы для изготовления материала, в состав которого входят УНТ без покрытия.

Нанесение медного слоя на частицы железного порошка может повысить термодинамическую стабильность УНТ в железной матрице в процессе спекания.

Цели и задачи исследования. Цель работы состояла в изучении влияния медного покрытия на частицах железного порошка, который является основой матрицы, на поведение УНТ в ней в процессе спекания и свойства спеченного композита.

Материал и методика исследования. В качестве основы для изготовления матрицы композита был использован железный порошок марки ПЖР 3.200.28 (ГОСТ – 9849-86). В качестве упрочнителя использованы УНТ, произведенные методом каталитического разложения СО на никелевом катализаторе. Содержание никеля в УНТ – 5 – 15 %.

Медное покрытие на частицах железного порошка получали методом химического меднения (цементации) в кислом водном растворе сернистой меди с добавлением сернистого железа (II) [2].

Содержание меди в шихте – 3 %.

Для оценки эффекта присутствия медного покрытия на частицах железного порошка проводилось сравнение свойств композита на основе омедненного порошка со свойствами композита того же состава на основе смеси порошков железа и меди.

Показателем механических свойств была выбрана твердость HV, а так же микротвердость внутри зерна и на границах зерен.

Образцы были изготовлены по одинаковым технологическим режимам.

УНТ имеют малую плотность по сравнению с железным порошком и склонны к образованию клубков.

В связи с этим, равномерно распределить УНТ в порошковой шихте путем сухого смешивания сложно.

Авторами был использован метод смешивания с помощью ультразвука в среде спирта.

Образцы были изготовлены методом одностороннего холодного прессования и спечены в среде водорода при температуре 1150 °С

Химический состав исследованных материалов приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав образцов

№ образца	медь	углерод	УНТ
1	-	0,3 %	-
2	-	-	0,3 %
3	-	-	-
4	3 %	0,3 %	-
5	3 %	-	0,3 %
6	3 %	-	-
7	3 % омедненный	0,3 %	-
8	3 % омедненный	-	0,3 %
9	3 % омедненный	-	-

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты измерений размера зерна образцов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты определения размера зерен

№ образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Размер зерна, мкм	46,5	44,7	53,9	24,7	20,4	71,6	21,6	18,0	38,2

Как видно из таблицы, наличие УНТ в матрице ведет к измельчению зерна, для железной матрицы – на 17,1 % по сравнению с чистой матрицей, для матрицы с содержанием меди 3 % – на 71,5 %, для матрицы с содержанием меди 3 % на основе омедненного порошка – на 52,9 % по сравнению с чистой матрицей.

Результаты измерений микротвердости приведены в табл. 3. Твердость HV измерялась с нагрузкой 10 кг. Результаты измерений приведены в табл. 4.

Таблица 3

Результаты измерения микротвердост

№ образца	Состав материала	Микротвердость внутри зерна, МПа	Микротвердость на границе зерен, МПа
1	Fe + 0,3% C	134,30	118,90
2	Fe + 0,3% УНТ	127,34	117,17
4	Fe + 3%Cu + 0,3% C	155,64	160,19
5	Fe + 3%Cu + 0,3% УНТ	187,52	126,40
7	Fe + 3%Cu + 0,3% C (омедненный)	143,93	142,10
8	Fe + 3%Cu + 0,3% УНТ (омедненный)	124,35	126,67

Результаты измерения твердости HV

№ образца	Образец на основе	Средняя твердость HV
5	Смеси порошков + 0,3% УНТ	76
8	Омедненного порошка + 0,3% УНТ	80
4	Смеси порошков + 0,3% С	89
7	Омедненного порошка + 0,3% С	84

Выводы.

1. Твердость материала на основе смеси порошков с добавлением углерода выше, чем аналогичного на основе омедненного порошка. В связи с этим, можно сделать вывод, что в материале на основе смеси порошков образовалось большее количество цементита (рисунок).

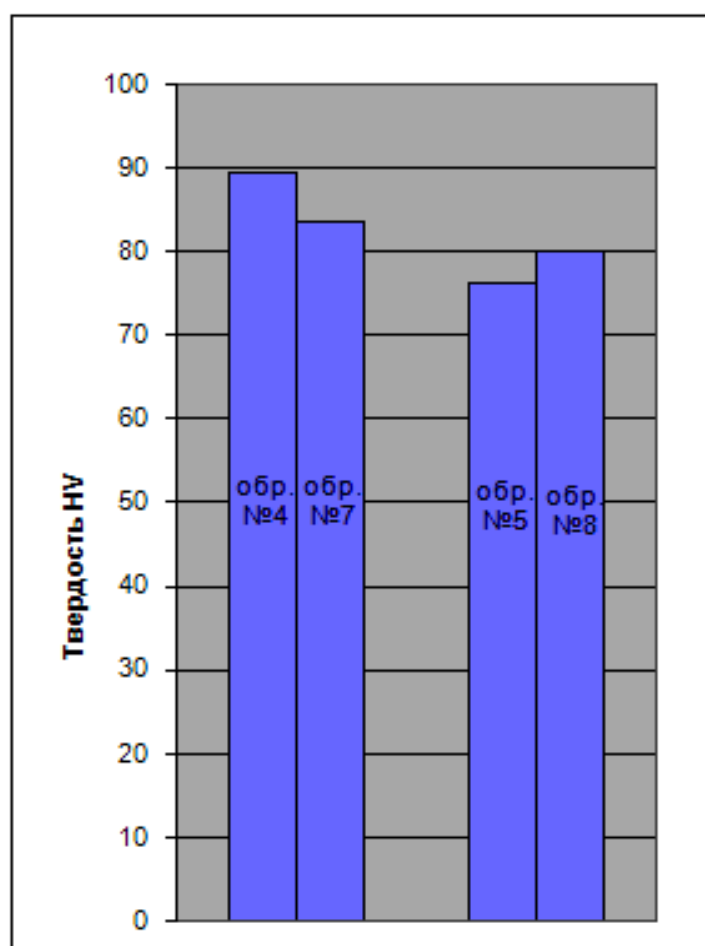


Рисунок – Результаты определения твердости образцов

Таким образом, можно предположить, что медное покрытие на частицах железа замедляет диффузию углерода в железо.

Это подтверждает тот факт, что микротвердость образца на основе смеси порошков с добавлением графита значительно больше как внутри зерна, так и на границах зерен, чем у аналогичного на основе омедненного порошка

2. Показания твердости образца на основе омедненного железного порошка с добавлением УНТ оказались выше, чем у образца на основе смеси порошков с добавлением УНТ (рисунок), что говорит о том, что УНТ в меньшей степени прореагировали с железной матрицей.

При этом упрочняющий эффект оказался выше.

Микротвердость материалов на границе зерен оказалась одинаковой, а внутри зерна у образца на основе порошковой смеси с добавлением УНТ – значительно выше, что, может свидетельствовать о том, что некоторая часть УНТ перешла в цементит.

Как показали результаты измерений, твердость у композита на основе омедненного порошка оказалась выше, чем у композита на основе смеси порошков.

Это дает возможность говорить об эффективности использования омедненного железного порошка при создании спеченных композитов на основе железа с УНТ.

Список литературы: 1. *Amit Goyala* Chemical Synthesis of carbide-free, high strength iron-carbon nanotube composite by in situ nanotube growth / [Amit Goyala, Donald A. Wiegand, Frank J. Owens, Zafar Iqbal] // *Physics Letters*. – 2007. – № 442. – P. 365 – 371. 2. *Богачов Д.Г.* Дослідження можливості одержання композитів з залізною матрицею і вуглецевими нанотрубками / [Д.Г. Богачов, Г.П. Стовпченко, П. Шеллер та інші.] // *Металознавство та термічна обробка металів*. – 2009. – № 3. – С. 61 – 66. 3. *Ермаков С.С.* Порошковые стали и изделия / *С.С. Ермаков, Н.Ф. Вязников*. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1990. – 318 с.

Поступила в редколлегию 20.09.10