

влияние мезоскопического структурного уровня на процессы деформирования и проанализированы закономерности контактного взаимодействия на границах раздела и напряженно-деформированного состояния частиц металлополимерного порошкового композита. Показано, что внутренняя структура композита играет ключевую роль в процессах образования концентраторов напряжений и локализации пластической деформации, а исследование мезоструктурных и мезомеханических особенностей металлополимерных порошковых систем позволяет достаточно объективно прогнозировать деформационно-прочностные свойства, что необходимо учитывать при создании композиционных материалов и покрытий на их основе.

Литература:

1. Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов. Под ред. В. Е. Панина. – Новосибирск: Наука, 1995. – Т.1.–298 с., Т.2.–320 с.
2. Ковтун В.А., Семенова Т.В. Влияние структуры металлополимерных порошковых систем на напряженное состояние композита // Известия НАНБ. Серия физико-технических наук. – 2007. – № 2. – С. 12–18.
3. Ковтун В. А., Плещачевский Ю. М. Триботехнические покрытия на основе порошковых меднографитовых систем. Гомель, 1998. – 148 с.

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМА УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТРИЦ НАНОЧАСТИЦАМИ ТУГОПЛАВКИХ СОЕДИНЕНИЙ

**КОСТИКОВ В.И., ЛОПАТИН В.Ю., ЧЕБРЯКОВА Е.В.,
ВИКУЛОВА Л.В., АЛЕКСЕЕВА М.Д.**

*НИТУ «Московский институт стали и сплавов», г. Москва, Россия,
тел.: (+7 495) 638-44-09, e-mail: chebryakovaev@gmail.com*

Одним из направлений развития современных материалов является разработка технологий композитов с матрицами на основе сплавов алюминия, упрочненных частицами малого размера (в том числе наноразмерными), а также использование в качестве матриц промышленных алюминиевых дисперсионно-твердеющих сплавов с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Основными методами воздействия на процесс кристаллизации металлов и сплавов с целью улучшения качества литых заготовок являются изменение скорости охлаждения расплава и

использование дополнительных воздействий. В последние годы все более широкое применение получают процессы производства отливок из черных и цветных металлов и сплавов с приложением давления, вибрации, а также силового поля центрифуги.

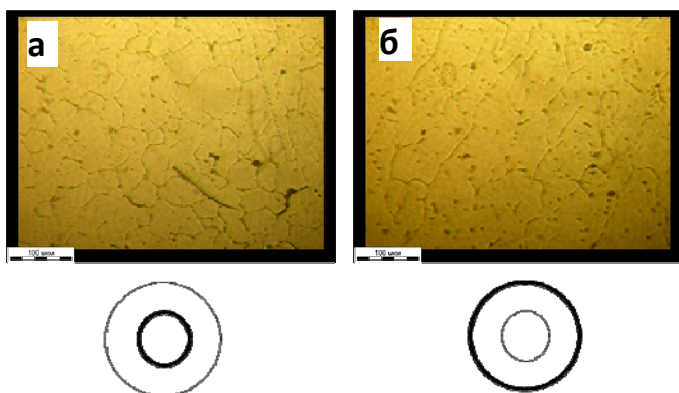
Работа, выполняемая на кафедре порошковой ПМФП НИТУ «МИСиС», направлена на исследование упрочнения алюминиевой матрицы частицами ZrO_2 и получения за счет обработки в центрифуге материала с прочностью, превосходящей прочность композиционного материала (КМ) с легированными алюминиевыми матрицами и дисперсными фазами-упрочнителями [1]. Выбор состава КМ определяется тем, что в системе Al- ZrO_2 при обработке в центрифуге вторая фаза, имеющая размер частиц менее 1 мкм, не растворяется в матрице, и на границе между ними соответственно не возникает межфазный слой.

В качестве матричного сплава был использован технический алюминий марки А99 (99,99% Al; 0,01% примесей, в основном Fe и Si, $\sigma_B = 80$ МПа) для исключения влияния легирующих добавок и изучения упрочнения композита только за счет частиц второй фазы.

Для получения лигатур использовали порошок алюминия (марка АСД-1, содержание Al 99,5%) и наноразмерный порошок ZrO_2 (2 % Y_2O_3 , ост. – ZrO_2 , размер частиц 10 – 20 нм, возможны агломераты размером до 100 нм).

Упрочняющие добавки вводили в расплав алюминия, перегретый на 10 – 15 °С выше его температуры плавления, в виде брикетированной порошковой лигатуры (Al + ZrO_2). Для обеспечения полного растворения брикетов и равномерного распределения упрочняющих добавок расплав выдерживали 10 – 40 минут перед заливкой в ротор с изложницей, закрепленной в центрифуге. Время центрифугирования составляло примерно 20 минут. После полного охлаждения до комнатной температуры кольцевые отливки разрезали на отдельные сегменты и прокатывали, после чего из полученных полос готовили образцы для изучения механических свойств и микроструктуры.

При изучении микроструктуры полученных материалов установлено, что наночастицы или небольшие агломераты из 2 – 5 частиц распределяются не по границам зерен, как предполагалось ранее, а находятся внутри них. Это связано с тем, что размер критического зародыша больше размера наночастиц (агломератов), и они не являются центрами кристаллизации, а захватываются зародышем в процессе кристаллизации (рис. 1). Зависимость размера зерна от содержания армирующих частиц приведена на рисунке 2.



а – на внутренней границе отливки б – на внешней границе отливки

Рис. 1. Микроструктура КМ Al + 3 % ZrO₂

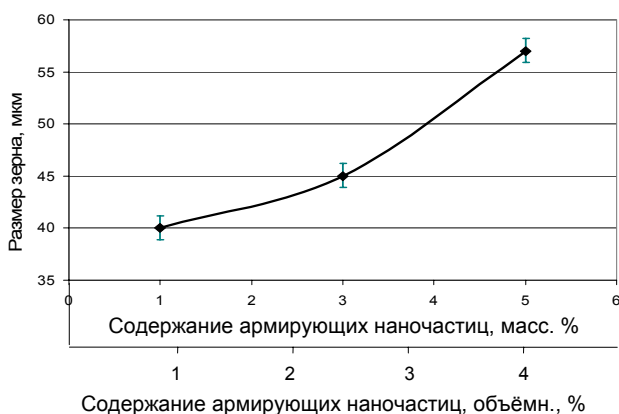


Рис. 2. Зависимость размера зерна от содержания армирующих частиц

Также было обнаружено, что размер зерен алюминия растёт с увеличением коэффициента гравитации, в том числе и по мере удаления от центра кристаллизатора. Кроме того, меняется и форма зерна – под воздействием центробежных сил оно становится более вытянутым. В результате исследования микроструктуры образцов установлено, что размер зерна алюминия увеличивается с увеличением содержания наночастиц. Это связано с тем, что с увеличением количества этих частиц все большее их число оказывается внутри критического зародыша. Таким образом, наночастицы, находясь внутри зерна, не препятствуют его росту.

Обнаружено, что концентрация частиц наноразмерного упрочнителя увеличивается по мере приближения к внешней поверхности кристаллизатора, вместе с ней увеличивается твердость Al-матрицы, что может быть связано и с изменением формы зерна.

В ходе испытаний образцов на растяжение и изгиб была установлена сложная зависимость механических свойств металломатричных КМ от содержания наночастиц ZrO_2 . Данные приведены в таблице 1 и на рисунках 3 и 4.

При исследовании образцов на растяжение был обнаружен максимум прочности при 3 % масс. ZrO_2 . До этой концентрации величина σ_b увеличивается согласно классической теории дисперсного упрочнения, по которой с увеличением количества частиц и соответственно уменьшением расстояния между ними затрудняется движение дислокаций. Снижение прочности при содержании частиц более 3% можно объяснить невозможностью сохранения их в неагломерированном состоянии при таком объемном содержании при механическом введении в расплав. Образование агломератов размером более 1 мкм подтверждается металлографически (рис. 5). Следствием агломерации является увеличение расстояния между упрочнителями и соответственно облегчение движения дислокаций. Следует отметить, что объемное содержание армирующих частиц, при котором наблюдается максимум прочности, уменьшается с увеличением дисперсности [2, 3].

Таблица 1

Механические свойства КМ на основе Al, армированного ZrO_2

Массовая доля ZrO_2 , %	Объёмная доля ZrO_2 , %	$\sigma_{растяж}$, МПа	$\sigma_{изгиб}$, МПа	$E_{изгиб}$, ГПа	Удлинение, %
1	0,84	131,59	284,26	63,3	11,49
3	2,52	139,22	233,05	47,66	6,95
5	4,2	127,33	264,43	56,91	6,86

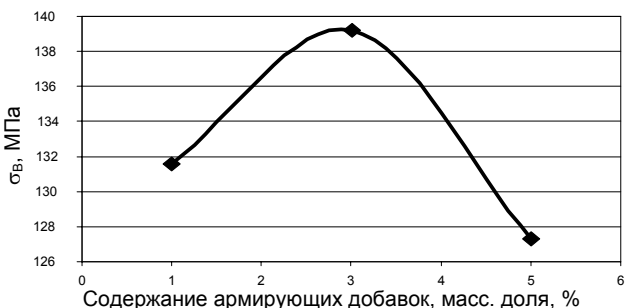


Рис. 3. Зависимость прочности на растяжение от содержания армирующих добавок

При определении относительного удлинения образцов было выявлено, что пластичность уменьшается по мере увеличения концентрации ZrO_2 .

Характеристики материала при изгибе имеют более сложную зависимость от содержания, противоречащую теории. В частности, зависимость прочности на изгиб от содержания наноразмерных армирующих добавок имеет ярко выраженный минимум, не характерный для дисперсно-упрочнённых материалов, где с увеличением содержания частиц до определенного уровня увеличивается и прочность. Это может быть объяснено различными механизмами упрочнения при концентрациях менее 3 % (левая ветвь кривой) и более 3 % (правая ветвь).

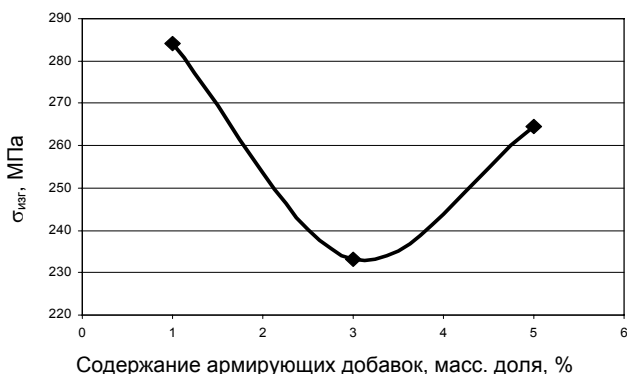


Рис. 4. Зависимость прочности на изгиб от содержания армирующих добавок

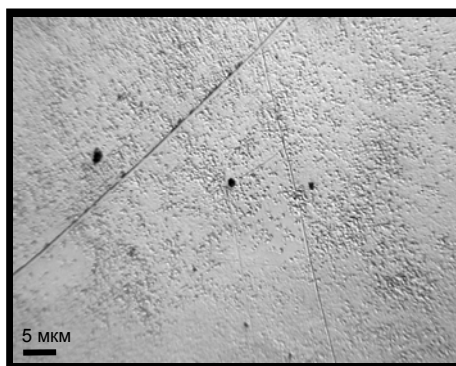


Рис. 5. Агломераты частиц упрочнителя в КМ Al + 5 % ZrO₂

Согласно теории научной школы академика И.Ф. Образцова, на левой ветви предположительно имеется максимум в районе 0,1 – 0,2 %, характерный для малых содержаний наночастиц. Он объясняется градиентной моделью межфазного слоя, в соответствии с которой вокруг каждой наночастицы формируется искажённая решётка, то есть создаются микронапряжения. При испытаниях на изгиб расстояние между областями с микронапряжениями уменьшается, в результате чего увеличивается прочность, чего не наблюдается на кривых растяжения. При больших содержаниях упругие напряжения релаксируют и прочность падает.

Далее вступает в действие классический механизм дисперсного упрочнения, связанный с торможением дислокаций мелкими частицами – правая ветвь кривой.

Таким образом, для наноразмерных добавок ZrO₂ была обнаружена принципиально новая, отличная от ранее изученного, зависимость прочности на изгиб от их содержания.

Аналогичная ситуация наблюдается и при определении модуля на изгиб, при этом абсолютное значение модуля для упрочненного алюминия превышает аналогичную величину для чистого алюминия, не подвергшегося обработке в центрифуге.

При проведении трибологических испытаний было получено, что коэффициент трения МКМ уменьшается с увеличением концентрации.

Результаты проведенной работы свидетельствуют о том, что имеется возможность получать металломатричные КМ, уп-

роченные дисперсными частицами наноразмеров, путем кристаллизации жидкого металла в поле центрифуги. Применение наночастиц тугоплавких соединений при создании КМ описанным способом позволяет получать большой эффект упрочнения пластичной матрицы без потери пластичности при малых концентрациях армирующей добавки.

Литература:

1. О.А. Анисимов, В.И. Костиков, Ю.В. Штанкин. Создание металлокомпозитов на основе алюминия путем кристаллизации жидкого металла в поле центрифуг.// Перспективные материалы, 2010.- №2.- С. 5 – 10.
2. Композиционные материалы на никелевой основе. К.И. Портной и др.- М.: Металлургия, 1979.- 264 с.
3. Дисперсноупрочненные материалы. К.И. Портной, Б.Н. Бабиш М.: Металлургия, 1974.- 200 с.

ПОЛУЧЕНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТА С МИКРОДОБАВКАМИ ЖЕЛЕЗА, МЕДИ, ЦИНКА И СЕЛЕНА

КУДА А.А., ИВАНЧЕНКО Л.А

*Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича
НАН Украины, г.Киев, Украина, тел.: (+38 044) 424-33-64,
e-mail: liana@voliacable.com, alexei@ipms.kiev.ua*

Введение. На сегодняшний день наиболее перспективными среди искусственно созданных материалов для имплантации в костную ткань считаются композиты на основе трикальцийфосфата (ТКФ), гидроксиапатита (ГАП) и биоактивного стекла. Одним из таких материалов является разработанный в ИПМ НАН Украины биоматериал на основе биогенного гидроксиапатита и натрий–силикатного стекла [1]. Так как этот материал имеет непосредственный контакт с организмом и принимает участие в процессах регенерации костной ткани, то для придания ему дополнительных специфических свойств в его состав вводились микродобавки железа, меди, цинка или селена, в отдельности, либо в комбинациях.

Введение указанных элементов или некоторых их соединений может улучшать общий и локальный обмены веществ в жи-