

Секция 2
МЕХАНИЧЕСКАЯ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.762:669.154

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОБАРИЧЕСКИ
ОБРАБОТАННЫХ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ НА
ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ И СПЛАВА ПГ-СР4 С ДОБАВКОЙ
НАНОСТРУКТУРНОГО КУБИЧЕСКОГО VN

П.А. ВИТЯЗЬ, В.Т. СЕНЮТЬ, М.Л. ХЕЙФЕЦ, А.Г. КОЛМАКОВ
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
Минск, Беларусь

ОАО «НПО Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь
Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН,
Москва, Россия

Проведено исследование структуры и микротвердости металло-матричных композитов на основе алюминия и самофлюсующегося сплава ПГ СР-4, синтезированных в условиях термобарической обработки с добавками наноструктурного кубического VN. Показано, что сочетание высокого давления, температуры и модифицирования позволяет снизить размер структурных составляющих сплавов и увеличить их микротвердость.

Изменения строения и свойств структур металлов и сплавов во времени определяются, прежде всего, температурой, а также давлением и другими интенсивными факторами их образования. Процессы, происходящие при обработке, описываются теорией термической обработки металлов, отражающей кинетику превращений при различных температурах и влияющие на ее ход факторы. Всестороннее давление до настоящего времени активно не применялось для управления структурообразованием в материалах. Сдерживают применение обработки давлением для формирования структур в металлах и сплавах технологические сложности управления процессом и недостаточная ясность, насколько эффективно может быть использовано давление для получения особых свойств материалов [1].

Добавки микро- и наноструктурных тугоплавких частиц в качестве примесных модификаторов позволяют эффективно изменять структуру металло-матричных композиционных материалов (КМ), способствует ее измельчению и повышению механических и триботехнических характери-

стик. Согласно принципу Шарпи, которому наиболее твердые структурные составляющие с низким коэффициентом трения и малой склонностью к задирам должны залегать в виде изолированных друг от друга включений, а наиболее вязкие – образовывать сплошную матрицу. Это обеспечивает высокие антифрикционные и износостойкие свойства композита, а также его прочность, вязкость и другие эксплуатационные свойства, предъявляемые к металло-матричным материалам [2].

В качестве модифицирующих добавок достаточно эффективно используются нанопорошки Al_2O_3 , SiC, TiN, TiCN, WC и др. [3]. Широкое применение для этих целей также получили углеродные наноматериалы, в т. ч. наноалмазы [4]. Применение в качестве модификатора кубического BN, уступающего алмазу по твердости, но обладающего более высокой термостойкостью и химической инертностью, будет способствовать повышению физико-механических и эксплуатационных свойств разрабатываемых материалов.

Цель работы – изучение влияния давления, температуры, а также добавок наноструктурного кубического BN на структуру и микротвердость металло-матричных КМ ($Al+cBN$ и ПГ-CP4+cBN).

В качестве наполнителя применяли наноструктурный порошок BN, полученный на основе микропорошка гексагонального BN (hBN) после механоактивации, термобарического синтеза, дробления и химической очистки спеков. Порошок с размером частиц cBN в пределах 100–200 нм состоит из агрегатов до 1–2 мкм и наряду с кубическим BN содержит остаточный hBN. Термобарическую обработку реакционных шихт осуществляли в аппарате высокого давления «наковальня с лункой» при давлении до 2 ГПа и температуре до 1100 °С в течение 20 с. Нагрев образцов производили путем прямого пропускания электрического тока через шихту. На полученных компактах были приготовлены шлифы, которые затем исследовали методами оптической и сканирующей электронной микроскопии. Микротвердость измерялась на микротвердомере ПМТ-3 алмазным индентором по шкале Виккерса с нагрузкой на индентор 50 г. Количество добавки порошка модификатора в шихте варьировали в пределах 1–5 мас. %.

Синтез алюмоматричного КМ+cBN. Основой сплава послужила алюминиевая пудра с толщиной частиц до 0,5 мкм и средним линейным размером до 30 мкм. В результате металлографических исследований АКМ, полученных с добавкой 1,5 мас.% cBN при температурах 650–800 °С было установлено, что их структура достаточно неоднородна: частицы BN собраны в конгломераты от 1 до 20–30 мкм, расположенные по границам

зерен алюминия. Повышение концентрации BN до 5 мас.% приводит к увеличению в материале доли более мелких конгломератов частиц (1–5 мкм), уменьшению размеров крупных включений до 10–20 мкм, при их равномерном распределении в алюминиевой матрице.

Как показал металлографический анализ, размеры зерен алюминия в среднем составляют 10–30 мкм, что можно объяснить совместным влиянием высокого давления и модифицирующим воздействием наполнителя на структуру композита. При этом рост температуры до 800 °С приводит к увеличению микротвердости материала. Максимальная микротвердость КМ, содержащего 1,5 мас.% и 5 мас.% наноструктурного cBN при температуре 800 °С составляет 400–410 МПа и 420–430 МПа соответственно. С ростом температуры свыше 1000 °С в материале с различным содержанием cBN (1,5–5 мас.%) происходит рекристаллизация cBN с образованием частиц cBN размером до 10 мкм, обладающих огранкой, характерной для микропорошков cBN [5].

Синтез КМ ПГ-СР4+cBN. Для экспериментов использовали порошок ПГ-СР4 класса М (ГОСТ 21448-75). В результате металлографических исследований сплава, полученного с добавкой 1,5 мас.% cBN, было установлено, что структура КМ однородна, частицы cBN собраны в конгломераты размером до 30 мкм и достаточно равномерно распределены в матрице. Результаты измерений микротвердости показали, что в среднем ее значения выросли на 18–32 % с 10–10,5 ГПа для образцов без модификатора до 11,8–13,7 ГПа для материала, полученного с добавкой наноструктурного cBN.

Для сравнения были проведены эксперименты по спеканию при данных технологических параметрах сплава ПГ-СР4 с добавкой 1–5 мас. % микропорошков cBN зернистостью 60/40 мкм. Было установлено, что в этом случае микротвердость образцов составила 6,4–7,1 ГПа, что в 1,5–2 раза ниже, чем при введении наноструктурного BN.

Таким образом, результаты работы показали перспективность использования высокого давления в сочетании с наноструктурным cBN в качестве модификатора алюминиевых и хромо-никелевых сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Научные основы материаловедения / Б.Н. Арзамасов [и др.]. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1994.
2. Технологии конструкционных наноструктурных материалов и покрытий / П. А. Витязь [и др.]; под общ. ред. П.А.Витязя и К.А.Солнцева. – Минск: Белорус. наука, 2011. – 283 с.

3. Курганова, Ю.А. Конструкционные металломатричные композиционные материалы: учебное пособие / Ю.А.Курганова, А.Г.Колмаков. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – 141 с.

4. Модифицирование материалов и покрытий наноразмерными алмазосодержащими добавками / П. А. Витязь [и др.]; под общ. ред. П.А.Витязя. – Минск: Белорус. наука, 2011. – 522 с.

5. Витязь, П. А. Получение алюмоматричного композиционного материала, модифицированного наноструктурным кубическим нитридом бора / П.А. Витязь, В.Т. Сенюць, М.Л. Хейфец, А.Г. Колмаков // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2018.– Т. 63.– № 3. – С. 271–279.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО НАУКЕ И ТЕХНОЛОГИЯМ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ОАО «НПО «ЦЕНТР
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРК
ПОЛОЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Инновационные технологии в машиностроении

Электронный сборник материалов международной
научно-технической конференции,
посвященной 50-летию машиностроительных специальностей
и 15-летию научно-технологического парка
Полоцкого государственного университета
(Новополоцк, 21-22 апреля 2020 г.)



ИннТехМаш

Под редакцией
чл.-корр. НАН Беларуси, д-ра техн. наук, проф. В. К. Шелега;
д-ра техн. наук, проф. Н. Н. Попок

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2020

УДК 621(082)

Редакционная коллегия:

Н. Н. Попок (председатель), В. П. Иванов (зам. председателя),
Р. С. Хмельницкий (отв. Секретарь), А.В. Дудан, В. А. Данилов, Е.В. Бритик

Инновационные технологии в машиностроении [Электронный ресурс] : электронный сборник материалов международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию машиностроительных специальностей и 15-летию научно-технологического парка Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 21-22 апр. 2020 г. / Полоц. гос. ун-т ; под. ред. В. К. Шелега; Н. Н. Попок. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-691-7.

Отражены современное состояние и направления развития технологии и оборудования механической и физико-технической обработки; рассмотрены вопросы создания современных материалов, изготовления, восстановления и упрочнения деталей машин, автоматизации производства, эксплуатации и модернизации автомобилей и других машин.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов технических специальностей учреждений образования.

Прилагаются [титulyные листы презентаций докладов](#) участников конференции.

Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3141815008 от 28.03.2018.

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 59-95-53, e-mail: n.popok@psu.by

№ госрегистрации 3141815008**ISBN 978-985-531-691-7**

© Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Инновационный технологии в машиностроении» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

Компьютерный дизайн *Е. А. Балабуровой*
Техническое редактирование и верстка *И. Н. Чапкевич*

Подписано к использованию 23.04.2020.
Объем издания: 10,9 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 264.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>