

УДК 620.18:620.17

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БОРАЛЮМИНИЕВЫХ КОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКОЙ

© 2011 С.В. Гладковский, Т.А. Трунина, Е.А. Коковихин, С.В. Смирнова,
И.С. Каманцев

Институт машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург

Поступила в редакцию 04.04.2011

Методом горячей прокатки получены слоистые алюмоматричные композиты с включениями карбида бора различной дисперсности. Исследованы структура, распределение микротвердости и механические свойства композитов.

Ключевые слова: *горячая прокатка, боралюминиевые композиты, прочность*

В атомном машиностроении большие перспективы для применения имеют алюмоматричные композиты, дисперсно-упрочненные частицами карбида бора. Использование алюминия и его сплавов в качестве матрицы обеспечивает повышенные теплофизические свойства композита при хорошей обрабатываемости. Применение в составе композита борсодержащих порошков в наноразмерном состоянии приводит к увеличению степени радиационной защиты деталей и элементов конструкций по сравнению с используемыми в настоящее время материалами [1]. В настоящее время известны различные способы получения алюмоматричных композитов, в частности, армированных частицами карбида бора. К ним относятся: твердофазное или жидкотвердофазное компактирование порошковых смесей; литейные технологии пропитки пористых каркасов из порошков или механического замешивания наполнителей в расплавы; газотермическое напыление композиционных смесей и др. [2]. Выбор состава порошковой смеси алюминия и карбида бора в значительной мере определяется способом её дальнейшей обработки с целью получения композита.

Гладковский Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией деформирования и разрушения. E-mail: gsv@imach.uran.ru

Трунина Татьяна Ароновна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: trunina@imach.uran.ru

Коковихин Евгений Алексеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Смирнова Светлана Валерьевна, аспирантка, инженер. E-mail: esv@imach.uran.ru

Каманцев Иван Сергеевич, инженер. E-mail: ks@imach.uran.ru

В настоящей работе представлены результаты исследования структуры и свойств боралюминиевых композитов, полученных методом горячей прокатки. Прокатку заготовок проводили на прокатном стане Дуо с диаметром валков 255 мм и длиной бочки 200 мм, при скорости прокатки 0,01-0,05 м/с. В качестве материала для листовых заготовок использовали алюминиевый сплав марки АМгЗ и сплав из группы авиалей марки АВ (ГОСТ 4784). В состав порошковой смеси был введен карбид бора с размерами частиц ≤ 20 мкм (микрофракция) и наноразмерный порошок (нанофракция). Дисперсность порошков карбида бора оценивалась с помощью сканирующего электронного микроскопа «Tescan VEGA II XMU» (рис. 1, а-б). В качестве наполнителя применяли промышленные алюминиевые порошки двух размерных фракций. Борсодержащие порошки были изготовлены на опытном заводе ФГУП «УНИХИМ» (г. Екатеринбург). В процессе исследования была выбрана группа подходящих связующих веществ; отработана система операций для подготовки поверхности заготовок; определена оптимальная конструкция пакетов для горячей прокатки с пониженной вероятностью окисления.

Прокатка заготовок композитов проводилась при температурах ниже температуры плавления использованных алюминиевых сплавов со степенью обжата не менее 50%. В результате реализации предложенной технологической схемы на основе горячей прокатки получены боралюминиевые композиты 4 различных составов.

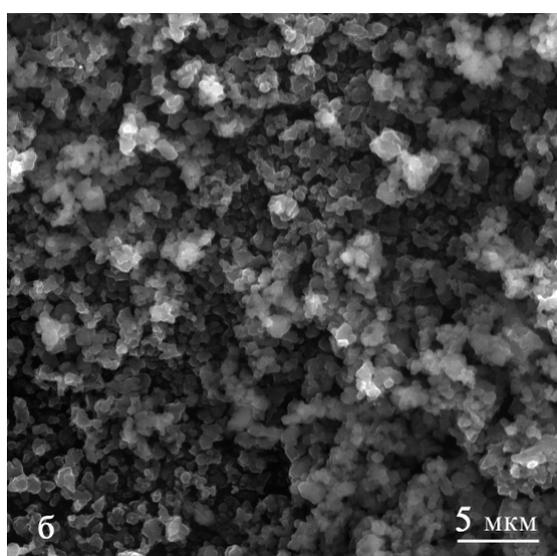
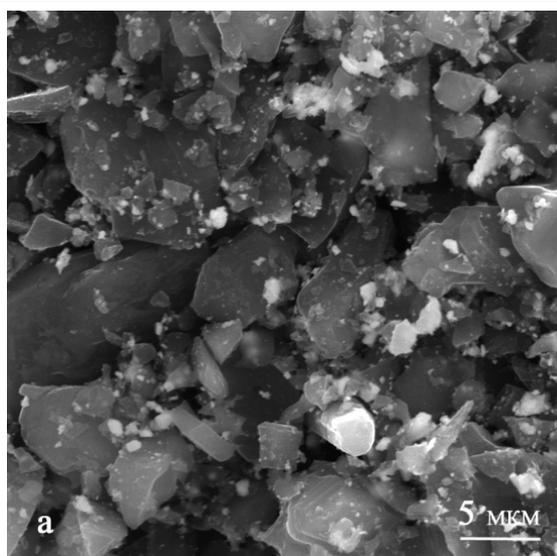


Рис. 1. Общий вид порошка B_4C микро-(а) и нанодисперсии (б)

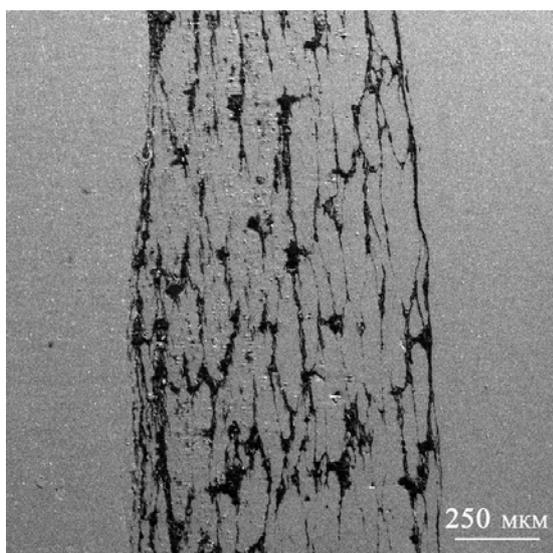


Рис. 2. Зоны соединения листовой оболочки из алюминиевого сплава АВ с порошком, содержащим карбид бора, после горячей прокатки

Между листовыми заготовками из алюминиевых сплавов формировался прочно сваренный с ними алюмоматричный слой с включениями частиц карбида бора, который в ходе прокатки приобрел форму отдельных вытянутых фрагментов (рис. 2). Структуру слоев сплава АВ в составе композита исследовали металлографическим методом с помощью микроскопа «НЕОРНОТ-21», а микротвердость определяли на микротвердометре «LEICA» по Виккерсу. При горячей прокатке композита зерна алюминиевого сплава АВ в листовых заготовках вытягиваются в направлении прокатки. При этом поперечный и продольный размеры зерен варьируются в пределах 20-80 и 40-250 мкм соответственно (рис. 3). Большая степень разности зернистости определяется сложным характером процесса структурообразования данного сплава при горячей пластической деформации, включающего динамическую полигонизацию и начальную стадию динамической рекристаллизации [3].

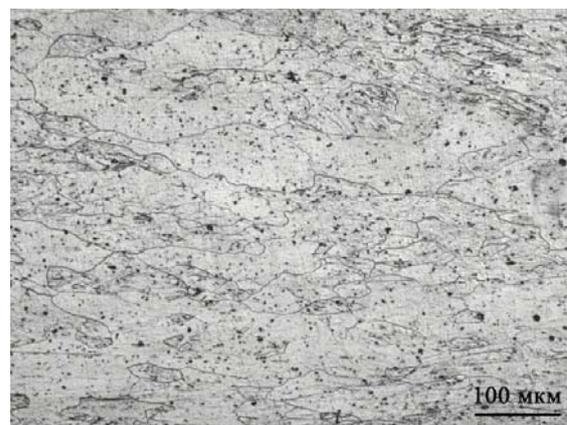
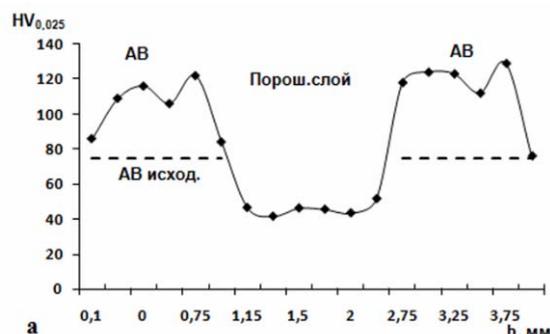


Рис. 3. Структура сплава АВ в составе композита после горячей прокатки

Микротвердость внешних слоев композита существенно превышает исходные значения HV сплавов АВ и АМгЗ, а также значения микротвердости центрального слоя из смеси порошков с карбидом бора (рис. 4). Наличие более прочной оболочки обеспечивает целостность и жесткость слоистого боралюминиевого композита.



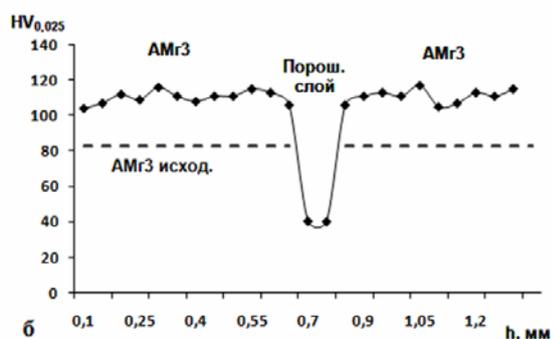


Рис. 4. Распределение микротвердости по сечению композитов на основе АВ (а) и на основе АМг3(б) с порошковыми прослойками

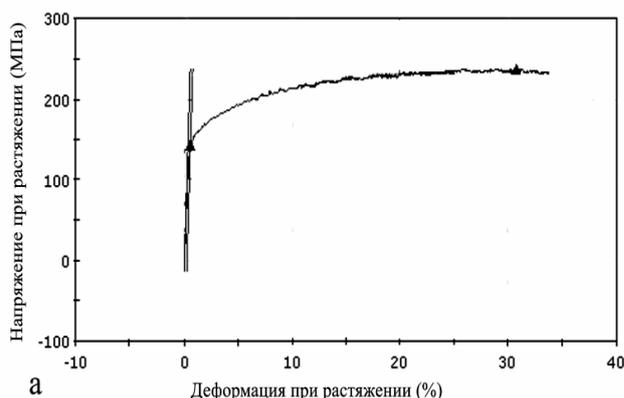
Механические свойства исходных материалов и композитов определяли при испытаниях на одноосное растяжение плоских образцов длиной 90 мм, шириной рабочей части 8 мм и толщиной 2 и 4 мм по ГОСТ 1497-84 с применением сервогидравлической испытательной машины Instron-8801. Усредненные значения механических свойств, рассчитывались по результатам испытаний не менее двух образцов каждого материала. Механические свойства исходных материалов и композитов, полученные при $t = 20^{\circ}\text{C}$, приведены в таблице.

Таблица. Механические свойства боралюминиевых композитов и исходных материалов

Материал		$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ
		МПа		%	
1	композит на основе сплава АВ с прослойкой из порошков Al+B ₄ C (нанодисперсия)	165	189	9	15
2	композит на основе сплава АМг3 с прослойкой из порошков Al+B ₄ C (нанодисперсия)	236	273	3	11
3	композит на основе сплава АМг3 с прослойкой из порошков Al+B ₄ C (микродисперсия)	176	226	5	16
4	композит на основе сплава АМг3 с прослойкой из порошка Al	220	256	6	22
5	Сплав АВ	160	240	20	25
6	Сплав АМг3	126	230	27	29

Боралюминиевый композит на основе сплава АМг3 с наноразмерным карбидом бора (№ 2 в таблице), имеет наибольшие значения предела текучести ($\sigma_{0,2}$), временного сопротивления (σ_B), и наименьшие значения относительного удлинения (δ) и сужения (ψ). В группе композитов на основе сплава АМг3 наименьшую прочность имеет композит с прослойкой, содержащей частицы B₄C в микродиапазоне (≤ 20 мкм) (№ 3). Полученный результат соответствует данным работы [2] о более низкой прочности и пластичности при растяжении алюмоматричных дисперсноупрочненных композитов по сравнению с матричными сплавами. Это связано с тем, что преимущественное зарождение трещин происходит на поверхностях раздела или в участках скопления крупных частиц армирующего вещества. В случае применения наноразмерного борсодержащего порошка в структуре композита такого явления не наблюдается. Следует отметить, что отношение $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ для всех типов композитов (в том числе без борсодержащего порошка) составляет 0,86-

0,98, а для исходных материалов соответствует величине 0,53. Это свидетельствует о снижении способности композиционных материалов к дальнейшему пластическому деформированию. На рис. 5 приведены диаграммы «напряжение-деформация», полученные при растяжении плоских образцов из сплава АМг3 в исходном состоянии и композита с наноразмерными частицами борсодержащего порошка (№ 2 в таблице).



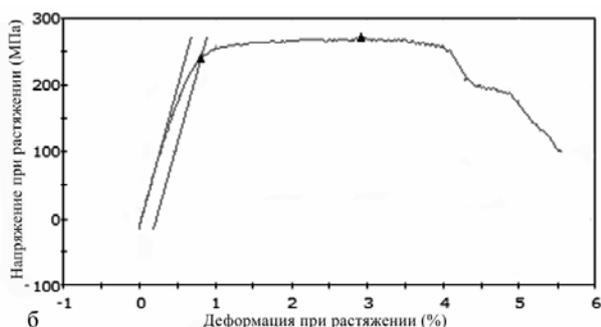


Рис. 5. Диаграммы растяжения образцов бор-алюминиевого композита из сплава АМг3 (а) из карбидом бора нанодисперсии (б)

Диаграммы и данные таблицы показывают, что сплав АМг3 в исходном состоянии претерпевает до разрушения значительные деформации. Бор-алюминиевый композит на основе сплава АМг3 с наноразмерным карбидом бора характеризуется по сравнению с исходным сплавом АМг3 повышенными на 40-110 МПа прочностными свойствами при удовлетворительных показателях пластичности. Сравнение данных замера микротвердости и механических испытаний (рис. 4 и таблица) показывает, что при сопоставимой прочности и микротвердости внешних слоев более тонкая центральная порошковая прослойка в композите на основе сплава АМг3 по сравнению с композитом на основе сплава АВ позволяет получить повышенные прочностные свойства при несколько меньших показателях пластичности.

Выводы: показана возможность получения бор-алюминиевого композита методом горячей прокатки. Изготовленные по предложенной

технологии слоистые композиционные материалы обладают повышенными прочностными свойствами по сравнению с металлом основы. Наиболее высокий уровень прочности достигается в композитах, содержащих наноразмерные порошковые прослойки. При сопоставимой прочности и микротвердости внешних металлических слоев увеличение толщины порошковой прослойки приводит к снижению прочностных и увеличению пластических свойств бор-алюминиевых композитов.

Авторы выражают благодарность за помощь в проведении экспериментов старшему научному сотруднику ИМАШ УрО РАН, к.т.н. Вичужанину Д.И.

Работа выполнена при частичной поддержке Программы Президиума РАН № 22 «Фундаментальные проблемы механики взаимодействий в технических и природных системах» и Гранта РФФИ-Урал (проект 10-02-96041)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Калошкин, С.Д. Металломатричные сложнополненные композиционные материалы на основе алюминиевых сплавов / С.Д. Калошкин, В.В. Чердынцев, М.В. Горшенков и др. // Сб. тезисов докладов научно-технологических секций. Международный форум по нанотехнологиям РОСНАНО. М., 2008. Т. 1. С. 447-449.
2. Чернышова, Т. Алюмоматричные композиционные материалы антифрикционного назначения / Т. Чернышова, Л. Кобелева, Л. Болотова, А. Панфилов // Международный виртуальный журнал для науки, техники и инновации для индустрии «Машины, Технологии, Материалы». URL: <http://www.mech-ing.com/journal/2-3-2007.html>
3. Горелик, С.С. Рекристаллизация металлов и сплавов. 3-е изд. / С.С. Горелик, С.В. Добаткин, Л.М. Капуткина. – М.: МИСИС, 2005. 432 с.

STRUCTURE AND PROPERTIES OF BORON-ALUMINIUM COMPOSITES RECEIVED BY HOT ROLLING

© 2011 S.V. Gladkovskiy, T.A. Trunina, E.A. Kokovihin, S.V. Smirnova, I.S. Kamantsev
Institute of Engineering Science UB RAS, Ekaterinburg

By method of hot rolling are received layered alumo-matrix composites with inclusions of boron carbide various dispersion. The structure, distribution of microhardness and mechanical properties of composites are investigated.

Key words: hot rolling, boron-aluminium composites, durability

Sergey Gladkovskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief of the Deformation and Fracture Laboratory. E-mail: gsv@imach.uran.ru

Tatiana Trunina, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow. E-mail: trunina@imach.uran.ru

Evgeniy Kokovikhin, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow

Svetlana Smirnova, Post-graduate Student, Engineer

Ivan Kamantsev, Engineer. E-mail: ks@imach.uran.ru