

режимы высокоэффективных методов обработки деталей позволили спроектировать мехатронный ТК.

Использование ТК для операций технологического процесса по упрочнению и восстановлению наружных поверхностей тел вращения показало высокую эффективность в условиях мелкосерийного производства ремонтных предприятий. Применение ТК дало возможность уменьшить численность производственного персонала до двух-трех рабочих-операторов и повысить производительность восстановления деталей в 3-4 раза.

**Заключение.** Таким образом, на основании проведенных исследований разработана методология оптимизационного синтеза мехатронных технологических комплексов высокоэффективной обработки изделий, включающая: структурный синтез технологических комплексов высокоэффективной обработки; анализ адаптивного управления в мехатронных комплексах; параметрическую оптимизацию производственных процессов и средств оснащения.

Применение мехатронных технологических комплексов позволяет существенно повысить производительность благодаря использованию комбинированных методов обработки и автоматизации производства, как с технологическим, так и с предметным принципом организации; которая может радикально изменяться путем гибкой переналадки и адаптивного управления.

**УДК 621.762.8**

## **СПЕКАНИЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО ДОБАВКАМИ ШУНГИТА И КОРУНДА**

**М.Л. Хейфец<sup>1</sup>, В.Т. Сенюць<sup>2</sup>, В.А. Ржецкий<sup>2</sup>,  
И.Н. Черняк<sup>3</sup>, А.Г. Колмаков<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск

<sup>3</sup>Институт порошковой металлургии ГНПО ПМ НАН Беларуси, Минск

<sup>4</sup>Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН,  
Москва, Российская Федерация

*Проведено исследование влияния высокого давления и температуры на структуру материала на основе алюминия, модифицированного наноструктурированными добавками шунгитового углерода и ультрадисперсного корунда. Отработаны технологические схемы спекания композиционных наноструктурных материалов Al-шунгит, Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, с содержанием модификаторов в пределах 1,5 – 5 мас.%.*

Разработка композиционных материалов (КМ) с матрицей на основе алюминия является сегодня актуальной задачей. В основном для повышения физико-механических и эксплуатационных свойств алюминиевой матрицы используют примесное модифицирование, ускоренное затвердевание и инвертирование микроструктуры заготовок, позволяющие улучшить структуру отливок не только из первичных, но и из более дешевых вторичных сплавов [1].

Добавки микро- и наноструктурных тугоплавких частиц в качестве примесных модификаторов позволяют эффективно изменять структуру алюминиевых сплавов, способствует ее измельчению и повышению механических и триботехнических характеристик алюмоматричных КМ [2]. Широкое применение для этих целей также получили углеродные наноматериалы (углеродные нанотрубки, фуллерены, ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза), а также микро- и нанопорошки тугоплавких соединений [2, 3].

Для улучшения взаимодействия тугоплавких микро- и наночастиц с алюминиевым расплавом, повышения равномерности их распределения в матрице предлагаются различные способы. Так, в [4] разработан метод получения армирующих тугоплавких наполнителей на основе нитрида бора и оксида кремния. По предложенной технологии на поверхности исходных микро- и нанопорошков *in-situ* образуются тугоплавкие соединения в нанодисперсном состоянии, обладающие химическим сродством к алюминиевой матрице. Применение данных наполнителей позволяет эффективно диспергировать структурные составляющие силуминов и ведет к существенному повышению физико-механических и триботехнических характеристик КМ. В то же время приложение высокого давления при спекании таких КМ будет способствовать стабилизации их структуры и фазового состава.

Целью данной работы было изучение влияния добавок шунгита и оксида алюминия (корунда)  $Al_2O_3$  на структуру и микротвердость синтезируемых в условиях высокого давления алюмоматричных КМ.

В качестве исходных материалов использовали порошок шунгита с содержанием углерода до 40 %, порошок оксида алюминия дисперсностью менее 1 мкм и порошок алюминия ПА-4 ГОСТ 6058-73, служивший в качестве основы. Порошок шунгита предварительно измельчали в атриторе в течение 10 мин при скорости вращения импеллера 500 об/мин. Для повышения химического сродства к алюминиевой матрице было выполнено предварительное химико-термическое модифицирование порошков шунгита и корунда, заключавшееся в высокотемпературном отжиге указанных добавок в среде галогенидов алюминия.

После отжига добавку (шунгит, корунд) вводили в порошок алюминия в количестве 5 и 1,5 мас.%, затем в течение двух часов производили

перемешивание шихт в баночном смесителе. Термобарическую обработку полученных шихт осуществляли в специальных контейнерах из литографского камня в аппарате высокого давления при статическом давлении 1,5 ГПа и температурах 800 – 1200 °С в течение 30 с. Нагрев образцов осуществляли путем прямого пропускания электрического тока через шихту, находящуюся в условиях квазигидростатического сжатия.

В результате исследований спеченных образцов установлено, что с увеличением температуры спекания наблюдается рост микротвердости КМ алюминий – шунгит, причем образцы с концентрацией шунгита 1,5 мас.% обладают в среднем более высокой микротвердостью (40–42 кгс/мм<sup>2</sup>) по сравнению с образцами КМ, содержащими 5 мас.% шунгита (36 – 38 кгс/мм<sup>2</sup>) (рис.), полученных при аналогичных режимах спекания.

Измерения микротвердости КМ алюминий – корунд показали, что с ростом температуры спекания для материала с добавкой модификатора в количестве 5 мас.% микротвердость практически не увеличивается. Для концентрации модификатора 1,5 мас.% микротвердость КМ с ростом температуры повышается с 36 до 40 – 42 кгс/мм<sup>2</sup> и приближается к значениям микротвердости для материала с 5 мас.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Al. В целом, микротвердость выше у материала с 5 мас.% наполнителя, причем достигается она при более низких температурах в сравнении с материалом, содержащим 1,5 мас.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

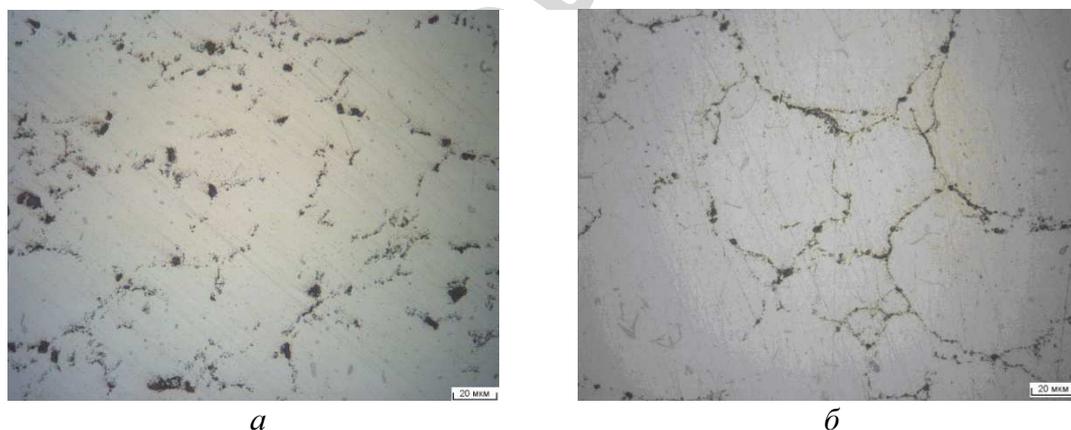


Рис. Структура КМ, модифицированного добавками шунгита (а) и корунда (б) после Т-обработки под давлением 1,5 ГПа; температура спекания 800 °С; содержание добавки (шунгит, корунд) – 1,5 мас.%

Размеры зерен алюминиевой матрицы в случае спекания в высокотемпературной области не увеличились по сравнению с образцами, полученными при более низких температурах, что можно объяснить как влиянием высокого давления и малой длительности спекания, так и модифицирующим воздействием наполнителей на структуру КМ.

Разработанные КМ могут найти применение при получении мелкокристаллических лигатур для модифицирования алюминиевых сплавов, а также в качестве связки для абразивного инструмента.

*Исследования поддержаны грантом РФФИ 14-08-90011 и БРФФИ Т14Р-198.*

#### Литература

1. Марукович, Е.И. Модифицирование сплавов / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко. – Минск: Беларус. навука, 2009. – 192 с.
2. Чернышова, Т.А. О модифицировании литых алюмоматричных композиционных материалов тугоплавкими наноразмерными частицами / Т.А. Чернышова, Л.И. Кобелева, И.Е. Калашников // *Металлы*. – №1. – 2009. – С. 79 – 87.
3. Калашников, И.Е. Алюмоматричные композиционные материалы с наполнителями из шунгитовых пород / И.Е. Калашников, В.В. Ковалевский, Т.А. Чернышова, Л.К. Болотова // *Металлы*, 2010. – №6. – С. 85 – 95.
4. Витязь, П.А. Аспекты создания наноструктурированных композиционных модификаторов для сплавов алюминия. / П.А. Витязь, А.И. Комаров, В.И. Комарова, А.А. Шипко, В.Т. Сенюць // *ДАН Беларуси*. – 2011. – Т. 55. – №5. – С.91 – 96.

**УДК 629**

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

**И.В. Хомич**

Полоцкий государственный университет, Новополоцк

Работа двигателя внутреннего сгорания (ДВС) основана на сжигании топлива в ограниченном объеме, в результате чего выделяется теплота. В современном ДВС к.п.д. достаточно низкий – до 30%, поэтому основная (70%) часть тепловой энергии, которая не была преобразована в механическую, должна быть рассеяна и отведена от ДВС, т.к. двигатель работает эффективно достаточно в узком температурном диапазоне от +80 до +115 °С, который называется рабочей температурой.

В период сгорания горючей смеси температура в цилиндре достигает 2000 °С и более. Сильный нагрев может вызвать нарушения нормальных рабочих зазоров и, как следствие, усиленный износ, заклинивание и поломку деталей, а также снижение мощности двигателя, за счёт ухудшения наполнения цилиндров горючей смесью, самовоспламенения и детонации. Для обеспечения нормальной работы двигателя необходимо охлаждать детали, соприкасающиеся с горячими газами, отводя от них тепло в атмосферу непосредственно либо при помощи промежуточного тела (воды, низкозамерзающей жидкости). При чрезмерно сильном охлаждении рабочая смесь, попадая на холодные стенки цилиндра, конденсируется и стекает в картер двигателя, где разжижает моторное масло. Как