

УДК 621.9  
ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ  
МЕХАНИЧЕСКИ ЛЕГИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ

Ф. Г. ЛОВШЕНКО, \*Г. Ф. ЛОВШЕНКО, А. С. ФЕДОСЕНКО  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
\*«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ АВИАЦИИ»  
Могилев, Минск, Беларусь

Известно, что термическая обработка механически легированных материалов оказывает существенное влияние на их фазовый состав и свойства. Структура частиц, а так же их твердость, заметно влияют на качество формируемых газотермических покрытий, и, в первую очередь, на их пористость. Исходя из этого, целью работы являлось установление влияния термической обработки синтезируемых порошковых материалов на основе железа и никеля на их структуру и твердость. Исследования проводились на композициях, основой которых являлись системы Fe – Ni – Cr – C, Fe – Cr – C, Fe – Al, Ni – Al.

**Влияние термической обработки на твердость частиц.**

Твердость частиц наносимого материала является одной из важнейших характеристик, отвечающих за получение покрытий с высоким комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств, включая их твердость, прочность, износостойкость и т. д. Для установления влияния термической обработки исследуемых порошков на данную характеристику, материалы подвергались отжигу при температурах от 100 до 900 °С в течение 2 ч в защитной среде аргона.

Полученные результаты показали, что изменение твердости частиц порошковых материалов на основе систем Fe – Cr – C и Fe – Ni – Cr – C носит схожий характер. В интервале нагрева 100–300 °С происходит постепенный ее рост, с достижением максимального значения при температуре 300 ± 20 °С. Дальнейшее повышение температуры ведет к ее снижению.

Увеличение содержания в композициях системы Fe – Cr – C как углерода, так и хрома, приводит к повышению максимального значения твердости активизируемого нагревом (Fe – 13 % Cr – 0,4 % C – 680 HV; Fe – 18 % Cr – 0,95 % C – 830 HV), а так же росту жаропрочности частиц (Fe – 13 % Cr – 0,4 % C – 420 HV; Fe – 18 % Cr – 0,95 % C – 475 HV, при температуре отжига 900 °С). Данный факт объясняется тем, что увеличение содержания хрома и углерода способствует росту количества упрочняющих фаз в конечном продукте в виде карбидов и оксидов, завершение процесса образования которых и активизируется термическим воздействием.

Зависимость изменения твердости частиц от температуры отжига материалов системы Ni – Al аналогичны композициям рассмотренным выше.

Отличительной особенностью является существенный рост твердости и жаропрочности материала с увеличением количества алюминия в композиции. Так для материала состава Ni – 5 % Al, обработанного в течение 8 часов, максимальная твердость составляет 480 HV, значение которой снижается после отжига при температуре 900 °С до 405 HV. Наибольшая твердость частиц материала Ni – 15 % Al, полученного при тех же условиях, составляет 525 HV, а ее значение, в результате выдержки при 900 °С, практически не изменяется. Данное явление можно объяснить тем, что с увеличением количества алюминия, в материале возрастает содержание интерметаллидов, а так же оксидов алюминия, наличие которых обусловлено окисленной поверхностью частиц исходных компонентов.

При введении в композиции на основе системы Ni – Al оксидов с низкой термодинамической стабильностью, являющихся поставщиками кислорода и необходимых для синтеза упрочняющей фазы, наблюдается существенное увеличение температуры отжига, при которой частицы достигают максимального значения твердости. Так для материала состава Ni – 10 % Al – 3,2 % Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub> температура, при которой частицы обладают наибольшей твердостью, находится в интервале 400–450 °С, а для композиции, содержащей 9,6 % Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, она составляет 580–630 °С.

Изменение твердости частиц порошков на основе системы Fe – Al носит характер схожий с никель-алюминиевыми композициями.

#### **Влияние термической обработки на структуру частиц.**

Порошковые материалы подвергались отжигу при температуре 900 °С в течение 2 ч. В качестве защитного газа так же использовался аргон.

В процессе механического легирования обрабатываемая в механореакторе композиция проходит несколько стадий, которые включают начальное измельчение и гомогенизацию исходных компонентов, образование активных поверхностей, объединение мелких осколков в гранулы, а так же объединение нескольких частиц в конгломераты.

Термическая обработка рассматриваемых композиций не оказывает принципиального влияния на микроструктуру частиц. Можно отметить, что в результате нагрева происходит проявление границ, по которым образовались конгломераты. В ряде случаев отжиг приводит к проявлению слоистой структуры частиц, наличие которой обусловлено процессами, протекающими в ходе формирования частицы в механореакторе. Положительное влияние на их структуру, в этом отношении, оказывает увеличение времени механосинтеза.

Отжиг композиций, в состав которых дополнительно вводили соединения, являющиеся поставщиками кислорода, не оказывает существенного влияния на структуру формируемых гранул. В результате нагрева этой группы материалов происходит незначительное увеличение их неоднородности, наиболее явно отражающееся на композициях систем Fe – Ni – Cr – C.