

Отзыв

на автореферат диссертации Юдина С.Н. представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Актуальность работы определяется необходимостью повышения температуры газа и эксплуатационных характеристик, надежности и работоспособности перспективных газотурбинных двигателей (ГТД). Одним из перспективных путей повышения эксплуатационных характеристик авиационных двигателей является применение для деталей горячего тракта ГТД новых высокотемпературных материалов на основе интерметаллидов. Такими материалами являются интерметаллидные сплавы на основе алюминидов никеля с плотностью 6,0-8,2 г/см³, имеющие рабочие температуры до 1150-1500°С благодаря высокой термической стабильности структуры. В настоящее время эти легкие сплавы являются альтернативой серийным жаропрочным никелевым сплавам, применение которых ограничено рабочими температурами до 1050-1100°С и высокими значениями плотности (~9-10 г/см³). Алюминид ниобия Nb₃Al обладает привлекательным сочетанием относительно низкой плотности (7,29 г/см³) и высокой температуры плавления (2060°С). Недостатком является низкая пластичность, обусловленная кристаллической структурой алюминида. По температуре плавления, модулю упругости и плотности Nb₃Al превосходит или сопоставим с алюминидами на основе никеля (NiAl, Ni₃Al) и титана (TiAl, Ti₃Al), сплавы на основе которых уже находят применение в авиакосмическом двигателестроении. Одним из факторов, препятствующих применению этого перспективного материала, являются трудности, связанные с получением Nb₃Al и сплавов на его основе традиционными металлургическими методами (дуговая и индукционная плавки, направленная кристаллизация) с последующей механической обработкой. Юдин С. Н. посвятил свою диссертационную работу разработке технологии получения компактного интерметаллида Nb₃Al и сплавов на его основе с контролируемым химическим и фазовым составом по порошковой технологии, используя процессы гидридно-кальциевого синтеза и консолидации порошковых материалов. Этот способ является наиболее экономичным, не требует специализированного оборудования, как, например метод направленной кристаллизации. Работа выполнена на кафедре «Физика металлов и материаловедение» ФГБОУ ВО Тульского государственного университета и в ООО «Метсинтез».

На основании анализа известных литературных данных о различных способах синтеза и консолидации Nb₃Al по порошковой технологии автор выбрал способ, предусматривающий синтез исходных порошков Nb₃Al заданного химического и фазового состава методом гидридно-кальциевого восстановления, который показал хорошие результаты при получении материала на основе моноалюминида никеля. Грамотно проведенные исследования с использованием современного исследовательского оборудования позволили диссертанту в короткие

сроки синтезировать порошки тугоплавкого интерметаллида Nb_3Al , предложить и экспериментально подтвердить феноменологическую модель гидридно-кальциевого синтеза соединения Nb_3Al . Это позволило контролировать технологические параметры последовательно протекающих элементарных процессов (восстановление оксидов Nb_2O_5 и Al_2O_3 расплавом кальция, растворение восстановленных металлов в расплаве кальция, структурообразование сплава в среде жидкого кальция и гомогенизация состава сплава в ходе изотермической выдержки) и получить гетерофазный материал, представляющий собой Nb_3Al + твёрдый раствор алюминия в ниобии. Выполнен комплекс работ, связанный с консолидацией полученных порошков (гидростатическое прессование и вакуумное спекание), позволивший получить компактные заготовки длиной 200 мм и диаметром 20 мм с плотностью не менее 95 % от теоретической, содержащие кроме основных фаз не менее 2 % оксида алюминия. На созданную технологию получения заготовок на основе интерметаллида Nb_3Al получен патент РФ №2624562 от 28.09.2016 на изобретение «Способ получения заготовок из сплавов на основе интерметаллидов системы Nb-Al». Изучены некоторые механические свойства образцов при испытаниях на сжатие и растяжение, показавшие, что предложенную диссертантом порошковой технологию изготовления заготовок из интерметаллида Nb_3Al с контролируемым химическим и фазовым составом можно рассматривать как перспективную для разработки жаропрочных сплавов на основе интерметаллида Nb_3Al .

Однако работа не свободна от некоторых недостатков.

1. Свойства при испытаниях на сжатие нового материала $Nb_3Al-2\%Al_2O_3$, позиционируемого как жаропрочный конструкционный, вряд ли надо сравнивать со свойствами нелегированного моноалюминида никеля, взятыми из ранней работы R.D. Noebe (автореферат, рис. 18 а), поскольку опубликованы (журнал МЕТАЛЛЫ, 2007-2008 гг.) данные о свойствах при растяжении порошкового сплава $NiAl-2\%Y_2O_3$, изготовленного из порошков, полученных по той же технологии гидридно-кальциевого восстановления (О.А. Скачков, ЦНИИЧЕРМЕТ).

2. Вряд ли можно ожидать, что будет происходить скольжение винтовых дислокаций в процессе ползучести при сжатии в сплаве с гетерофазной структурой (фазы с кристаллическими решетками типа A15 и A2), хрупко разрушающемся даже при температурах 1450-1650 К (автореферат, рис. 8, 9). По-видимому, механизм, замедляющий ползучесть, скорее определяется наличием межфазных границ.

Следует также отметить, что хотя твердый раствор на основе ниобия образуется в материале в процессе испарения алюминия и обозначен автором как «деградация структуры» Nb_3Al , этот процесс может оказаться полезным, поскольку упомянутый твердый раствор является вязкой структурной составляющей с неупорядоченной о.ц.к. кристаллической решеткой типа A2 по отношению к Nb_3Al со структурой типа A15.

Однако, сделанные замечания не снижают научной значимости и практической ценности работы. Диссертация является самостоятельной законченной научной квалификационной работой. По актуальности темы, научной новизне, практической значимости и достоверности результатов представленная работа удовлетворяет требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям. Автореферат и опубликованные работы отражают основное содержание диссертации.

Автор диссертационной работы, Юдин Сергей Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы» за разработку феноменологической модели гидридно-кальциевого синтеза соединения Nb_3Al , и разработку на этой базе технологии получения компактного интерметаллида Nb_3Al и сплавов на его основе с контролируемым химическим и фазовым составом, используя процессы гидридно-кальциевого синтеза и консолидации порошковых материалов.

Г.н.с. ИМЕТ РАН, д.т.н., профессор

К.Б. Поварова

Подпись К.Б. Поваровой заверяю

Ученый секретарь ИМЕТ РАН

К.т.н.

О.Н. Фемина



Поварова Кира Борисовна, ИМЕТ РАН им А.А. Байкова, Москва 119911,
Ленинский проспект 49. Раб. тел. 8-499-135-44-14.

povarova@imet.ac.ru