

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Юдина Сергея Николаевича «Разработка технологии получения компактного интерметаллида  $Nb_3Al$  из гидридно-кальциевого порошка», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Проблема создания высокотемпературных материалов и конструкций является общей для различных отраслей народного хозяйства: машиностроения, авиационной, ракетно-космической и судостроения. В связи с этим тема диссертационной работы С. Н. Юдина, посвященная разработке технологии получения компактного интерметаллида  $Nb_3Al$  и сплавов на его основе, с использованием процессов гидридно-кальциевого синтеза и порошковой металлургии, рассматривается как перспективная основа для создания высокотемпературных (до  $1600^\circ C$ ) материалов, применяемых в ракетно-космическом и авиационном двигателестроении.

Диссертантом впервые осуществлён синтез порошка тугоплавкого ( $T_{пл.} 2060^\circ C$ ) интерметаллида  $Nb_3Al$  в ходе восстановления оксидов  $Nb_2O_5$  и  $Al_2O_3$  гидридом кальция при температурах  $1100 - 1200^\circ C$ , при этом установлено, что в условиях гидридно-кальциевого синтеза происходит взаимодействие между  $Nb_3Al$  и водородом с образованием двух водородсодержащих фаз – насыщенного твёрдого раствора водорода в  $Nb_3Al$  и гидрида  $Nb_3AlH_x$ .

Несомненным научным достижением соискателя является представленная модель синтеза интерметаллида  $Nb_3Al$ , механизм которого состоит в рассмотрении интегрального физико-химического процесса синтеза по отдельным, следующими друг за другом стадиям:

- термическое разложение гидрида кальция на кальций и водород, с последующим плавлением металла;
- восстановление оксидов металлов расплавом Ca;
- растворение восстановленных Nb и Al в расплаве Ca;
- структурообразование сплава в среде жидкого Ca;
- гомогенизация состава сплава в ходе изотермической выдержки и формирование продукта в соответствии с соотношением компонентов сплава в исходной шихте и диаграммой состояния Nb-Al.

Особенно следует отметить, что предложенная модель синтеза хорошо согласуется с экспериментальными данными, что позволяет на практике регулировать технологические параметры гидридно-кальциевого синтеза.

Электронно-микроскопические исследования подтвердили высокую однородность химического состава порошковых гидридно-кальциевых сплавов. Согласно микрорентгеноспектральному анализу (МРСА) порошка Nb-6,45Al, подавляющее большинство частиц – однофазные, усреднённый (по 20 частицам) состав  $Nb_3Al$ :  $19,61 \pm 0,55$  % ат. Al. или  $6,62$  % масс. Al, что находится в хорошем согласии с данными химического анализа по алюминию.

Полученные результаты позволили С. Н. Юдину опробовать два метода консолидации синтезированных порошков: искрового плазменного спекания

(ИПС) и холодного прессования с последующим спеканием (ХП+С). На основании проведенных исследований был выбран второй метод, который лёг в основу опытной порошковой технологии изготовления заготовок из интерметаллида  $Nb_3Al$  с контролируемыми химическим и фазовым составами, включающий в себя холодное гидростатическое прессование порошка с последующим вакуумным спеканием при температуре  $1700^{\circ}C$ : при  $1300^{\circ}C$  и скорости деформирования  $10^{-3} c^{-1}$  предел текучести на сжатие составляет 430 МПа, предел прочности на растяжение – 160 МПа.

В целом следует отметить, что проведенные исследования, выполнены на высоком научно-техническом уровне с привлечением большого количества физико-химических методов исследования и с применением новейшего исследовательского и технологического оборудования: спектрометр Optima 4200DV с индуктивно-связанной плазмой, сканирующий микроскоп TESCAN VEGA LMN с приставкой для МРСА Oxford Instruments Advanced AZtecEnergy, металлографический анализ - микроскоп Axio Observer. D1m, гранулометрический анализ - лазерный анализатор частиц ANALYSETTE 22 MicroTec фирмы Fritsch и др, подтверждающих обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, которые были представлены.

Выполненная диссертантом работа по своей актуальности и научной новизне соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Юдин Сергей Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

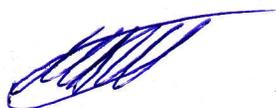
Доктор технических наук  
по специальности  
05.16.09 – Материаловедение  
(машиностроение), профессор,  
главный научный сотрудник  
лаборатории «Высокотемпературные  
композиционные материалы»  
ФГУП «ВИАМ»

  
Щетанов  
Борис Владимирович  


Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов»  
Государственный научный центр Российской Федерации  
Адрес: 105005, г. Москва, ул. Радио, 17. Телефон: (499) 263-86-94. E-mail: admin@viam.ru

Подпись д.т.н., профессора Щетанова Бориса Владимировича  
удостоверяю.

Ученый секретарь



Шишимиров Матвей Владимирович