

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Щукина Александра Сергеевича на тему
«Исследование взаимодействия продуктов горения системы Ni-Al с тугоплавкими металлами
W, Mo и Ta»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
01.04.17 - Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества

Работа А.С. Щукина посвящена актуальной теме – исследованию закономерностей фазо- и структурообразования при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе интерметаллида NiAl и его взаимодействию с тугоплавкими металлами $M \equiv W, Mo, Ta$ в порошковых смесях и слоевых системах (Ni+Al)/M. Поскольку соединение NiAl обладает высокой стойкостью к окислению при повышенных температурах, создание покрытий из NiAl на поверхности тугоплавких металлов перспективно для различных практических применений.

В работе получен ряд интересных экспериментальных результатов, обладающих существенной научной новизной. В частности, обнаружено необычное явление декорирования поверхности вольфрама на границе с NiAl частицами фаз W_2Ni и WNi , которые, согласно равновесной диаграмме Ni-W, устойчивы ниже температуры ≈ 1050 °C (когда расплав в волне СВС уже закристаллизовался), т.е. они могут возникнуть только за счет твердофазного взаимодействия на границе W/NiAl. При исследовании структуры переходной зоны на границе “W-подложка/NiAl” в структуре квазибинарной эвтектики обнаружены дендриты и пучки волокон вольфрама, образовавшиеся из расплава Ni-Al, в котором при высокотемпературном взаимодействии растворилось некоторое количество W. Установлено наличие волокон Mo в зернах фазы NiAl в переходной зоне “Mo-подложка/наплавка NiAl”, причем на границе этих волокон с NiAl имеется сопряжение кристаллических решеток, т.е. сформировался своеобразный *in situ* композит с волокнистым упрочнением интерметаллидного слоя. Установлено также формирование волокон Mo в переходной зоне Mo/NiAl.

Прикладную ценность имеют: разработанный метод синтеза тяжелого сплава 90% W – 10% NiAl (масс.%), процесс получения покрытий из жаростойкой фазы NiAl на поверхности Mo, W и Ta, метод получения наноразмерных волокон W и Mo путем селективного вытравливания продуктов СВС.

Следует отметить опубликованность результатов исследований в рецензируемых журналах по профилю работы (Advanced Engineering Materials, International Journal of SHS, Известия ВУЗов – Порошковая металлургия и функциональные покрытия, Письма о материалах, Физика горения и взрыва).

Замечания по автореферату.


1. Эксперименты проведены на образцах малого размера (диаметром 3 мм и высотой 1 мм для системы 90% W – 10% NiAl) и на тонких фольгах Mo, W и Ta. Будут ли результаты существенно отличаться при масштабировании на большие размеры образцов?
2. В автореферате имеется неточность: “Растворимость Al в Mo около 10 ат. % при температуре 1600 °C, растворимость Mo в Ni составляет 28,4 ат. % при температуре эвтектики 1318 °C” (стр.15). На самом деле, согласно диаграммам равновесия Al-Mo и Ni-Mo, 10 ат.% – это растворимость Mo в твердом Al (который отсутствует при взаимодействии во время СВС), а растворимость Mo в жидком Al составляет около 36 ат.% при температуре СВС; 28,4 ат. % при 1318 °C – это предельная растворимость Mo в твердом Ni (который также отсутствует при взаимодействии во время СВС), а растворимость Mo в жидком Ni (состав эвтектического расплава) – около 38 ат.%.
3. Отсутствует объяснение экспериментально наблюдаемого факта, что декорирование поверхности зерен W на границе с NiAl частицами фаз W_2Ni и WNi наблюдается только при СВС в смесях Ni - Al - (1-5) ат.% W и отсутствует при добавлении в смесь 1-5 ат.% NiO. Как отмечено выше, фазы W_2Ni и WNi могут возникнуть только за счет твердофазного взаимодействия на границе W/NiAl. Поэтому приведенная на стр.12 оценка, основанная на значении коэффициента диффузии W в твердом Ni, не имеет отношения к процессу,

поскольку твердый Ni при взаимодействии отсутствует. По моему мнению, речь может идти о диффузионном взаимодействии W с NiAl, а скорость диффузии металлических примесей в интерметаллидах, состоящих из 2-х подрешеток, сильно зависит от количества вакансий в каждой из подрешеток. Последние величины сильно (на порядки) изменяются при изменении состава соединения. При недостатке Al в NiAl по сравнению со стехиометрией $Ni_{0,5}Al_{0,5}$ концентрация структурных вакансий V_{Ni} в подрешетке Ni снижается примерно на 2 порядка, и она при этом на 3 порядка выше, чем концентрация вакансий V_{Al} в подрешетке Al, т.е. именно концентрация V_{Ni} в фазе NiAl определяет коэффициент диффузии примеси. Возможно, причина именно в этом, поскольку при добавлении в шихту NiO часть Al расходуется на восстановление NiO до Ni, т.е. состав получаемой фазы NiAl будет смещаться в сторону меньшей концентрации Al.

Высказанные замечания не снижают научной значимости работы. Поскольку защита диссертации должна проходить в форме научной дискуссии, данные замечания могут ей способствовать.


В целом, работа выполнена на достаточно высоком научном уровне, обладает научной новизной и практической ценностью и свидетельствует о наличии у ее автора квалификации, соответствующей степени кандидата технических наук по специальности 01.04.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества. На основании вышеизложенного соискатель А.С. Щукин заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Главный научный сотрудник лаборатории физики тонких пленок
Физико-технического института НАН Беларуси,
д.ф.-м.н., доцент
Адрес: 20141, Беларусь, г.Минск, ул.Купревича, 10
e-mail: khina_brs@mail.ru, тел. +375 29 3029387


Хина Борис Борисович
23 ноября 2018 г.

Подпись Хины Б.Б. удостоверяю:
и.о. ученого секретаря ФТИ НАН Беларуси




Басапай А.В.