

Отзыв

**на автореферат диссертации Разумовского Михаила Игоревича
«Диффузия в системах тугоплавких металлов с ОЦК решёткой: Ti / Ti-
Zr-Hf-Ta-Nb-Mo и Ti / Ta», представленной на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. -
Физика конденсированного состояния**

В настоящее время активно исследуется возможность создания металлических жаропрочных сплавов (ЖС) с высокими температурами плавления на основе многих тугоплавких металлов, так называемых высокоэнтропийных сплавов (ВЭС).

Для разработки нового поколения тугоплавких ВЭС в первую очередь необходимо выбрать систему легирования ЖС с высокой температурой плавления $T_m \sim 2000$ К, матрица которых – твердый раствор тугоплавких металлов с ОЦК решеткой – будет иметь приемлемую пластичность, высокую структурную стабильность и обладать другими важными для ЖС свойствами, среди которых особое место занимает диффузия. Поэтому изыскание системы легирования перспективных тугоплавких ВЭС и изучение в них диффузионных характеристик легирующих элементов представляется весьма важной и актуальной задачей.

Достоинством работы можно считать, что выбранные химические составы тугоплавких сплавов на основе многих тугоплавких металлов предлагается использовать в качестве основы нового поколения ЖС, результаты исследования диффузии позволяют прогнозировать ресурс тугоплавких многокомпонентных сплавов по аналогии с оценками долговечности никелевых ЖС.

Достоверность результатов подтверждается использованием в работе обширного комплекса современных методик и различного оборудования,

позволившая получить достаточную воспроизводимость, надёжность и точность полученных новых экспериментальных результатов. Методическая часть выполнена на современном научном уровне.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. Поскольку плавление ВЭС не является конгруэнтным и размазано в интервале температур, логичнее было бы в качестве T_m указывать температуру не конца плавления, а начала плавления (лопатка турбины непригодна уже в этот момент). Например, для 6-компонентного эквиатомного сплава на Рис.1 плавление начинается при ~ 2200 К, а в Табл.1 для него указана $T_m = 2580$ К, что соответствует концу плавления (правда, на стр.24 фигурирует $T_m = 2150$ К). На графиках с обратной гомологической температурой T_m/T , может быть следует брать среднюю T_m .

2. Единицы измерения вдоль оси абсцисс на Рис.11 и 13: $1000/T$ ($1000/K$) $\rightarrow 1000/T$ (K^{-1}).

3. По поводу близости коэффициентов диффузии всех элементов в ВЭС можно высказать предположение, что наиболее подвижные элементы (с максимальной самодиффузией) при перескоках увлекают за собой более медленные элементы, так как создают локальные дефекты решётки (например, междоузлия), снижающие энергетические барьеры для медленных элементов. Асимметрия концентрационных кривых Ta, Nb, Hf, Mo может указывать на то, что избыток окружающего их подвижного титана ускоряет диффузию этих элементов. Если это так, то для термической стабильности ВЭС нужно избегать применения подвижных элементов.

Основные результаты, представленные в диссертации, апробированы на различных международных конференциях, а также опубликованы в ведущих российских и зарубежных изданиях. В целом работа Разумовского Михаила Игоревича представляет собой законченное исследование, содержит важные для теории и практики результаты. Результаты исследований не вызывают сомнений и подтверждены использованием современных высокоточных методов.

Автореферат соответствует требованиям ВАК России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант Разумовский М.И. заслуживает присвоения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. - Физика конденсированного состояния.

Заведующий кафедрой НИТУ МИСИС

д.т.н., проф.

В.П. Тарасов

07.11.2024

ПОДПИСЬ *Тарасов* ЗАВЕРЯЮ

Проректор по безопасности

и общим вопросам

НИТУ МИСИС

