

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Быкадорова А.Н. «Исследование теплового расширения Al-Li сплавов, титан-сталей и композитных покрытий ZrO_2/Al_2O_3 », представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Актуальность работы

Одной из важных характеристик конструкционных материалов является термический коэффициент линейного расширения (ТКЛР). В первую очередь это относится к материалам с выраженной гетерогенностью, таким как композиты и функциональные покрытия. Разница в ТКЛР матрицы и волокна в композите, а также подложки и покрытия приводят при термоциклировании к образованию на межфазных границах высоких напряжений и приводит к разрушению изделий. Не менее существенной является разница в ТКЛР между различными фазами в многофазных сплавах и многослойных покрытиях. Это относится не только к твердому раствору и интерметаллидным фазам, различия в термическом расширении которых значительны в силу различий в характере химической связи, но также и к сплавам, состоящим из твердых растворов, таким как стали и титановые сплавы.

Необходимо отметить, что наряду с широким использованием для определения ТКЛР дилатометрии, до сих пор недостаточно используется высокотемпературная рентгенография. Рентгеновский метод дает возможность определять величины ТКЛР в таких материалах, для которых не применим дилатометрический метод. В первую очередь это тонкие поверхностные слои и покрытия. Кроме того, измерение ТКЛР в многофазных сплавах и сопоставление этих измерений с результатами, полученными для изолированных фаз, даёт возможность оценить эффекты их взаимодействия в многофазных сплавах. Важно также отметить, что при использовании метода высокотемпературной рентгенографии для фаз с некубической структурой можно получить информацию о величинах ТКЛР в различных кристаллографических направлениях, т.е. определить в поликристаллическом материале монокристаллические константы теплового расширения.

В этой связи диссертационная работа Быкадорова А.Н., в которой поставлена задача исследования закономерностей процессов термического расширения в сплавах Al-Cu-Li, трип-сталях и многофазных покрытиях с использованием высокотемпературной рентгенографии является актуальной.

Научная новизна

Важным методическим достижением применительно к покрытиям с тетрагональной и гексагональной решетками является предложенный в работе новый способ определения ТКЛР в направлении осей «с» и «а» фаз с указанными кристаллическими структурами. При этом диссертант использовал простое аналитическое представление величины ТКЛР в зависимости от ориентации по отношению к осям кристаллической решётки. Этот подход позволяет повысить точность измерения и, насколько известно, до сих пор не использовался для решения таких задач. Важно подчеркнуть, что представленные в работе измерения термических характеристик трехфазных оксидных покрытий с использованием высокотемпературной рентгенографии являются новым, перспективным направлением исследования функциональных покрытий.

В работе установлены важные закономерности влияния основных легирующих элементов (Cu и Li) на термические, а также упругие и прочностные свойства промышленных сплавов системы Al-Cu-Li. Убедительно показано, что повышение отношения концентраций лития и меди приводит к повышению модуля Юнга за счет увеличения суммарной доли интерметаллидов, в основном, за счет δ' -фазы. Однако при этом в сплавах уменьшается количество T_1 -фазы, что приводит к снижению прочности сплавов. Этот результат важен в научном и практическом плане, поскольку дает эффективный способ оптимизации как прочностных, так и упругих свойств.

Следует отметить, что работе впервые получены данные о термических свойствах α - и γ -фаз в таких перспективных современных материалах как трип-стали. Важно также, что обнаружено различие в величинах ТКЛР для трип-стали и близкой к ней стали, не обладающей трип-эффектом. Это может внести вклад в прогнозирование составов трип-сталей, поскольку до сих пор отсутствуют количественные критерии для выбора химического состава стали, обеспечивающей трип-эффект.

Практическая значимость работы

Реализованные в работе с использованием метода высокотемпературной рентгенографии измерения величин ТКЛР в оксидных фазах покрытий, полученных магнетронным осаждением, позволяют прогнозировать поведение этих оксидов в многослойных покрытиях. При этом использованный в работе методический подход может быть эффективно использован при решении многочисленных задач конструирования многокомпонентных многослойных покрытий, для которых высокотемпературная рентгенография является наиболее эффективным методом оценки величин ТКЛР. Результаты диссертации используются в ООО Научно-технический центр «СИЛАТЕ» при выполнении работ по нанесению износостойких покрытий на оснастку и инструменты порошкового производства.

Сплавы системы Al-Cu-Li являются одними из наиболее перспективных авиационных материалов благодаря своей уникальной удельной жесткости и удельной прочности. Полученные в работе количественные корреляции химического состава с ТКЛР, а также с упругими и прочностными свойствами промышленных сплавов Al-Cu-Li дают широкие возможности прогнозирования и оптимизации упругих и прочностных свойств сплавов, а также позволяют достигать их баланса, необходимого для изготовления конкретного изделия.

Важным практическим результатом является обнаруженная в работе обратная корреляционная зависимость между периодами решётки и величинами ТКЛР для трип-сталей, которая отсутствует для стали, не обладающей трип-эффектом, но имеющей близкий химический состав. Эти результаты могут быть использованы для прогнозирования и отбора сталей, обладающих трип-эффектом.

Достоверность полученных результатов обеспечивается необходимым объемом экспериментальных исследований, применением комплекса современных методов исследования структуры и свойств материалов, использованием сертифицированного оборудования, воспроизводимостью результатов измерений.

Публикации. Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 9 научно-технических конференциях,

опубликованы в 8 печатных работах, в том числе в 2 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и индексируемых в системе цитирования RSCI.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 179 наименований и приложений. Работа содержит 133 страницы машинописного текста, 39 рисунков, 8 таблиц.

По работе можно сделать следующие замечания

1. Диссертация и автореферат достаточно хорошо оформлены, однако в обоих текстах присутствует таблица с незаполненным столбцом, который относится к кристаллографической оси «b» (с. 107 диссертации и таблица 5 в автореферате). Для присутствующих в таблице фаз кристаллографическая ось «b» аналогична оси «a» и не требует отдельной колонки.
2. Не ясно, зачем нужен тензорный метод для определения ТКЛР фаз с тетрагональной и гексагональной решетками, для которых традиционный метод заключается в решении простой системы уравнений в двумя неизвестными «a» и «с».
3. В работе для сталей близкого состава показано, что величина ТКЛР стали, обладающей ТРИП-эффектом, существенно ниже, чем стали не обладающей этим эффектом. При этом, для интерпретации величин ТКЛР не ясна роль текстуры и фазовых превращений в этих сталях при прокатке и отжиге.
4. Отсутствие в работе данных дилатометрии не позволяет использовать уникальные данные о ТКЛР и количественном соотношении фаз аустенита и мартенсита в трип-стали, твердого раствора и интерметаллидов в сплавах Al-Cu-Li для анализа ТКЛР в многофазных сплавах.
5. В работе исследовали два трёхфазных покрытия, в которых одна из фаз была $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, при этом величины ТКЛР для неё отличались на 15%, что было объяснено нарушением правила аддитивности из-за взаимодействия с сопутствующими фазами. Тем не менее не ясно, как использовать полученные результаты для оценки эффективной величины ТКЛР для трёхфазного покрытия.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации. Тема диссертации соответствует заявленной специальности, а полученные результаты соответствуют поставленной цели и задачам работы. Диссертация выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной, практической ценностью, является самостоятельной и законченной научно-исследовательской работой. В диссертации решена актуальная проблема по развитию нового научного подхода к исследованию и оптимизации термических и структурных характеристик современных конструкционных материалов. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в авиакосмической и других отраслях промышленности.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утверждённом Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Быкадоров Артем Никитич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

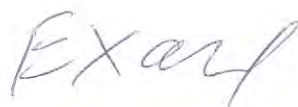
Официальный оппонент Харин Евгений Васильевич

старший научный сотрудник

ФГБУН Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова

Российской академии наук

к.т.н.



Харин Евгений Васильевич

119334, г. Москва, Ленинский пр-кт, д. 49

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук

10.11.2023

Телефон +7(499)135-96-63

Адрес электронной почты ekharin@imet.ac.ru

Подпись Е.В. Харина удостоверяю:

Учёной секретарь ИИМЕТ РАН Мещеряков Валентин С.Н.

