Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Шайсултанова Дмитрия Георгиевича
''Структура и механические свойства высокоэнтропийных сплавов системы CoCrFeNiX (X = Mn, V, Mn и V, Al и Cu)'',
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.10.01. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Актуальность темы диссертации

Развитие современного производства требует поиска новых материалов с особыми свойствами, которыми не обладают традиционные конструкционные материалы. К такому классу относятся высокоэнтропийные многокомпонентные сплавы (ВЭСы), имеющие в качестве матрицы пять и более компонентов в равных эквиатомных пропорциях . В связи с этим, фундаментальные исследования, связанные с изучением закономерностей формирования структуры и свойств таких материалов, является актуальными и требуют тщательного анализа с помощью современных экспериментальных методов. Именно этой проблеме посвящена диссертация Д.Г. Шайсултанова, в которой рассмотрены вопросы создания многофазных сплавов на основе системы CoCrFeNi путем легирования и деформационной обработки с целью улучшения их механических свойств. Результаты, полученные в ходе выполнения диссертации, имеют важное научно-техническое значение и направлены на решение одной их важных задач современного физического металловедения.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Изложена на 143 страницах, включая 49 рисунков и 25 таблиц. Библиографический список содержит 143 наименования.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы цель, задачи и научная новизна работы, её теоретическая и практическая значимость и методы исследования. Подробно изложены основные положения, выносимые на защиту, и перечислены конференции, на которых апробированы результаты работы.

Первая глава посвящена аналитическому обзору научной литературы по теме исследований. Наиболее подробно проанализированы вопросы, касающиеся термодинамических условий образования высокоэнтропийных многокомпонентных композиций. Рассмотрено влияние термической и деформационной обработок на структуру и свойства сплавов. В конце главы сформулированы основные задачи диссертационной работы.

Во второй главе приведено описание объектов и методик исследования, включая методы структурного анализа и механические испытания. Более подробно описаны виды термической обработки, а также схемы и режимы деформации.

Третья – пятые главы являются экспериментальными и содержат оригинальные результаты, выносимые автором на защиту.

В третьей главе изучены особенности структуры сплавов CoCrFeNiX (X = Mn, V, Mn + V, Al + Cu). При сравнении влияния различных легирующих элементов на структурно – фазовые превращения выявлены закономерности формирования ВЭСов в литом и гомогенизированном состояниях. Проведен анализ образующейся при кристаллизации структуры с использованием правил Юм-Розери и термодинамических параметров. В конце главы сформулированы выводы.

В четвертой главе представлены результаты по исследованию механических свойств ВЭСов в исходном состоянии и после гомогенизации. Для каждого состава построены диаграммы деформации, проведено сравнение кривых ''напряжение - деформация'', полученных в ходе испытаний на растяжение. Показано влияние легирования V и Mn+V на механические свойства, полученные при сжатии сплавов.
В выводах к 4 главе указаны причины снижения пластичности в легированных V и Mn+V сплавах за счет большой доли хрупкой σ – фазы. Установлено, что в CoCrFeNi сплаве, легированном Al+Cu, механические свойства определяются сложной многофазной структурой. Определены температуры хрупко – вязкого перехода.

Пятая глава посвящена исследованию влияния деформационной обработки на структуру и свойства сплавов CoCrFeNiX (X = Mn, Al + Cu). В начале главы описаны режимы упрочнения сплава CoCrFeNiMn методом холодной прокатки. Рассмотрена эволюция структуры деформированного материала в зависимости от степени деформации, построены графики изменений микротвердости и деформационные кривые. Подробно представлены результаты аналогичных исследований для сплава CoCrFeNiAlCu в условиях одноосного сжатия. Во втором параграфе рассмотрено сверхпластичное поведение сплава CoCrFeNiAlCu в интервале температур 800-1000°C и скоростях деформации 10^{-4} -$10^{-1}c^{-1}$. Изучено влияние температуры деформации на механические свойства сплава, построены логарифмические зависимости предела текучести и максимальные напряжения от скорости деформации. Показано изменение фазового состава и структуры после испытаний на растяжение, а также сделана оценка пористости деформированного материала при разных температурах. Определены режимы всесторонней изотермической ковки для формирования мелкозернистой многофазной структуры шестикомпонентного сплава.

В конце каждой из глав приведены краткие выводы. Общие результаты и выводы сформулированы в *Заключении*.

Научная новизна и достоверность результатов диссертационной работы

Все научные положения и выводы диссертации обоснованы, подтверждены экспериментально, обсуждены в рамках современных представлений о структурообразовании и свойствах ВЭСов и опубликованы в периодической печати.

В качестве наиболее важных и новых научных результатов можно указать следующие.

- Установлено влияние Mn, V, Al и Cu в разных комбинациях системы CoCrFeNi (Mn, Mn+V, Al+Cu) на структуру и фазовый состав сплавов. Доказано, что любое легирование приводит к дестабилизации неупорядоченного твердого раствора замещения с ГЦК кристаллической решеткой за счет образования различных упорядоченных фаз интерметаллического происхождения. Например, тетрагональной фазы σ в сплавах с V и с (Mn+V), которая приводит к охрупчиванию материала при росте его твердости и прочности.
- На примере исследованных композиций доказана применимость критерия Юм-Розери и термодинамических параметров для предсказания структуры ВЭСов.
- Предложена высокотемпературная деформационная обработка методом всесторонней изотермической ковки для получения шестикомпонентного сплава CoCrFeNiAlCu в мелкозернистом состоянии со средним размером зерна 2 мкм.
- Показано, что мелкозернистый сплав, легированный Al и Cu, при температурах 800-1000°C проявляет сверхпластичность – значения удлинения достигают 1240%.

Достоверность экспериментальных данных обеспечивается большим объемом выполненных экспериментов на аттестованных образцах с применением разнообразных методов исследования на современном оборудовании: рентгеноструктурного анализа, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, наноиндентирования и измерения механических свойств.

Достоверность полученных в работе результатов также подтверждается их повторяемостью при совместном исследовании несколькими аналитическими методами и хорошей согласованностью с известными теоретическими и экспериментальными данными других авторов.

Научная и практическая значимость диссертационной работы

Полученные новые экспериментальные результаты влияния легирования на структуру и свойства сплавов на основе системы CoCrFeNiX (X = Mn, V, Mn + V, Al + Cu) существенно расширяют фундаментальные сведения о структурно –фазовых превращениях в многокомпонентных высокоэнтропийных сплавах и служат основой для разработки новых металлических материалов.

Практическая значимость работы заключается в создании перспективных технологий получения ВЭСов с высокими механическими свойствами комбинированными методами деформационной и термической обработок.

Замечания и вопросы

1. В настоящее время считается доказанным, что многокомпонентные расплавы в широком интервале температур являются микрогетерогенными и характеризуются наличием концентрационных и структурных неоднородностей, которые служат потенциальными зародышами твердой фазы. Именно по этой причине для получения однородных по химическому и фазовому составу отливок необходимо выбирать и четко контролировать температуру и время выдержки расплава перед кристаллизацией. В диссертации отсутствуют данные о температурно – временной обработке расплавов и скорости их кристаллизации. В связи с этим вопрос. Как выбирались температуры литья для сплавов разного состава?

2.Анализ структуры и фазового состава шестикомпонентного сплава CoCrFeNiAlCu проведен в основном по результатам СЭМ (§3.2). Отсутствие качественных данных, полученных высокоразрешающими методами ПЭМ, не даёт полной информации об эволюции литой структуры в процессе гомогенизации.

3.При описании эффекта сверхпластичности кованого сплава CoCrFeNiAlCu (глава 5), автор указывает два фактора – измельчение зерна до 2 мкм и изменение фазового состава. Несмотря на подробное объяснение этого явления, не ясно, какой из указанных факторов является преобладающим.

4.В тексте диссертации встречаются опечатки, неточности. Например, нет обозначения фаз на рис. 37 (стр. 102), ошибка в подписи рис. 38 (стр.103), вместо т.2 указана т.3 на стр. 77 и т.д. Список литературы оформлен не по ГОСТу. Отмеченные незначительные неточности не снижают положительной оценки оформления работы в целом.

Общая оценка диссертационной работы

Диссертационная работа Д.Г. Шайсултанова является законченной научно – квалификационной работой, в которой получены новые и важные экспериментальные результаты. Содержание диссертации соответствует формуле и п.2 паспорта

специальности 05.16.01. "2. Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях".

Текст автореферата полностью отражает содержание диссертации. Полученные результаты соответствуют цели и задачам диссертационной работы и апробированы в пяти публикациях автора в рецензируемых и рекомендованных ВАК научных изданиях, а также доложены на шести конференциях по профилю работы.

Заключение

Диссертационная работа Д.Г. Шайсултанова на тему ''Структура и механические свойства высокоэнтропийных сплавов системы CoCrFeNiX (X = Mn, V, Mn и V, Al и Cu)'' полностью соответствует критериям, установленным п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 № 842. Считаю, что Д.Г. Шайсултанов заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01.- Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент
Доктор технических наук, профессор Ирина Григорьевна Бродова
01.12.2015 г.
Главный научный сотрудник лаборатории цветных сплавов
ФГБУН Института физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН
620990 г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д.18.
тел. (343)378-36-11
e – mail: brodova@imp.uran.ru

Подпись Бродовой
заверяю
Руководитель общего отдела
Н.Ф.Лямина
"01" 12 2015 г.