

Утверждаю

Проректор по научной работе МАИ

Профессор, д.т.н.

Ю.А. Равикович

« 25 » 12 2018 г.



### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» на диссертацию Ключевой Екатерины Сергеевны «Кинетика старения и изменения функциональных свойств сплавов системы Mn-Cu», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Актуальность темы диссертационной работы.

Одним из перспективных направлений развития современного материаловедения является разработка и изучение «умных» (smart) материалов, обладающих особыми функциональными свойствами. К таким материалам относятся сплавы с эффектом памяти формы. Они обладают термически обратимым и необратимым восстановлением измененной деформацией формы (двухпутевой и односторонний эффект памяти формы), сверхупругостью, высокой деформирующей способностью и другими свойствами не характерными для привычных конструкционных материалов. Это позволяет разрабатывать на их основе принципиально новые функциональные изделия - термомеханические соединения, трансформирующие конструкции, актуаторы, медицинские имплантаты и инструмент.

К таким умным материалам относятся сплавы на основе система Mn-Cu, исследование которых началось в середине прошлого века. Однако, несмотря

на многочисленные публикации по изучению структуры и свойств этих сплавов, многие теоретические вопросы и их практическое использование в настоящее время не решены. Поэтому исследование закономерностей влияния состава сплава и его термической обработки на формирование структуры, последовательность и полноту реализации мартенситного превращения, демпфирующую способность материала и характеристики эффекта памяти формы является актуальным с научной точки зрения и способствует внедрению сплавов системы Mn-Cu в практику для разработки новых функциональных изделий.

Общая характеристика работы.

Диссертационная работа Ключевой Е.С. имеет классическое материаловедческое построение, в котором на основе подробного анализа проведенных ранее исследований, отраженных в отечественной и зарубежной литературе, формируется цель работы и определяются задачи и последовательность их решения для достижения поставленной цели. В соответствии с ними выбираются объекты и методы исследования достаточные для решения поставленных задач.

В работе изучены особенности формирования структуры исследуемых сплавов после закалки и различных режимов старения. При этом использовали металлографический анализ и измерение различных физико-механических свойств материала. Полученные результаты, а также данные из опубликованных работ позволили автору предложить диаграммы, описывающие фазовый состав и структурное состояние материала после старения в широкой области температур и времени выдержки.

Далее автор находит связь структуры и функциональных свойств материала (уровня демпфирования, характеристик восстановления формы). Используя полученные закономерности влияния состава и режимов термообработки сплавов в диссертационной работе разработаны рекомендации по

технологическому управлению функциональными свойствами сплавов системы Mn-Cu.

Диссертационная работа имеет понятную структурную связь и написана технически грамотным языком.

Наиболее важные научные результаты.

К наиболее важным научным результатам диссертационной работы необходимо отнести установленные автором закономерности формирования структуры сплавов системы Mn-Cu в зависимости от их химического состава и режимов старения, а также полноту и последовательность протекания мартенситных превращений при термическом и деформационном воздействии на материал. Следует отметить выдвинутую гипотезу авторов о формировании «ближнего расслоения» при распаде аустенита при старении и его роль в структурообразовании материала и его термомеханических свойств.

В работе получены новые экспериментальные данные о характеристиках функциональных свойств сплавов Mn-Cu и влиянии на них химического состава, режимов термообработки и условий реализации эффекта памяти формы.

Практическая значимость работы.

Состоит в отработке методики определения функциональных свойств сплавов системы Mn-Cu и получения на этой основе базы данных о характеристиках демпфирования и эффекта памяти формы материала. В разработке номограмм для оценки характеристик памяти формы сплавов системы Mn-Cu при широком варьировании соотношения компонентов. Практические результаты работы могут быть использованы образовательными учреждениями при подготовке кадров высшей квалификации и проведении фундаментальных исследований, а также

отраслевыми институтами при проектировании новых функциональных конструкций для различных сфер применения.

Достоверность полученных результатов

Обеспечена использованием современного поверенного оборудования, проведением испытаний в соответствии с ГОСТ, хорошим совпадением экспериментальных и теоретических расчетов, отсутствием противоречий между полученными результатами и известными научными принципами и экспериментальными данными.

Замечания по диссертации:

1. В работе для определения содержания марганца в обогащенных им областям  $\gamma$ -твердого раствора использовали концентрационную зависимость температур мартенситного превращения сплавов Mn-Cu [Basinski Z.S. 1952] (стр. 42). Однако в указанной работе она определена при изменении марганца от 70 до 95% и ее применение к сплаву 36Mn64Cu выглядит необоснованным. Кроме того на температуру мартенситного перехода могут влиять упругие напряжения, формирующиеся на стадии распада  $\gamma$ -фазы.
2. В главе II приведены значения погрешности определения различных измеряемых величин. Но при этом не учитываются абсолютные или относительные погрешности. В случае степени восстановления формы, которая определяется в % создается непонимание о какой точности эксперимента идет речь.
3. В тексте диссертации (стр. 70) сказано, что «факт смещения температур ВТ и минимума  $f^2_p$  при старении может являться только следствием изменения содержания марганца в областях, испытывающих мартенситный сдвиг». С этим, для конкретных условий эксперимента, можно согласиться. Но в автореферате (стр. 10) это преобразуется в утверждение «Факт изменения температур МП при

- старении низкомарганцового сплава свидетельствует о развитии в нем спинодального расслоения». Это уже не однозначно, так как может происходить в результате  $\gamma$ -твердого раствора и по другим механизмам.
4. В автореферате рис.4 стр. 11 и так сложный для понимания из-за обилия данных не содержит расшифровки и обозначения приведенных характеристик.
  5. Термокинетическая диаграмма распада метастабильного  $\gamma$ к-твердого раствора представленная на рис.3.37 в диссертации (стр.85 и на рис. 9) автореферата (стр. 14) содержит обозначение фаз, образующихся не при распаде в процессе старения, а в процессе охлаждения до комнатной (а может быть и другой?) температуры. Считаем название диаграммы неудачным, а в тексте желательно было бы привести принципы ее построения.
  6. При описании функциональных свойств на протяжении всей главы 4 говорится об «амплитудах напряжения» и «силовом воздействии», хотя речь идет об амплитуде деформации и деформационном воздействии. Хотя эти понятия связаны, но, особенно для неупругих материалов, не одно и то же.

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации и общей высокой оценки работы.

Диссертация Ключевой Е.С. выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-инновационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения обеспечения требуемого уровня функциональных свойств сплавов системы MnCu.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 22 научно-технических конференциях, опубликованы в 21 печатных работах, в том числе 5 статей в ведущих рецензируемых международных журналах и журналах, входящих в перечень ВАК.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в области приборостроения, машиностроения и других областях экономики при разработке новых функциональных изделий.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденных Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор, Ключева Екатерина Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01-«Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Диссертационная работа Ключевой Екатерины Сергеевны и отзыв рассмотрены и обсуждены на заседании кафедры «Материаловедение и технология обработки материалов», протокол № 8/18 от 4 декабря 2018 года.

Отзыв составлен доктором технических наук, профессором кафедры «Материаловедение и технология обработки материалов» («МиТОМ») Коллеровым М.Ю.

Заведующий кафедрой «МиТОМ»

Д.т.н., профессор, академик РАН

e-mail: [iLinaa@mail.ru](mailto:iLinaa@mail.ru)

тел.: 8-499-141-95-88

Ильин А.А.

Московский авиационный институт

Волоколамское шоссе, д.4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993

адрес в сети интернет: [www.mai.ru](http://www.mai.ru)

телефон: +7-499-158-43-33