

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.003.01 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
НАУКИ ИНСТИТУТА ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ ИМЕНИ М.Н. МИХЕЕВА  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИФМ УрО РАН) ФЕДЕРАЛЬНОГО АГЕНСТВА НАУЧНЫХ  
ОРГАНИЗАЦИЙ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ  
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 19.05.2017, № 7

О присуждении СТАРИКОВУ Сергею Анатольевичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Деформационно-индуцированная сегрегация в аустенитных сплавах» по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния принята к защите 03.03.2017, протокол № 2 диссертационным советом Д004.003.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской Академии наук (ИФМ УрО РАН), Федеральное агентство научных организаций, 620990, Екатеринбург, ул. С.Ковалевской, 18, приказы Минобрнауки РФ № 714/нк от 02.11.2012 и № 188/нк от 26.02.2015.

Соискатель Стариков Сергей Анатольевич, 1972 года рождения, в 1996 году окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет им. А.М. Горького» по специальности «Физика»; в 1999 году окончил очную аспирантуру при Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Уральский государственный университет им. А.М. Горького»; с 2000 года по настоящий момент работает в должности ведущего технолога в Федеральном государственном бюджетном

учреждении науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории механических свойств Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель – член-корреспондент РАН Сагарадзе Виктор Владимирович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, лаборатория механических свойств, главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

1. Овчинников Владимир Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией пучковых воздействий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института электрофизики Уральского отделения Российской академии наук

2. Козлов Александр Владимирович, доктор технических наук, советник дирекции АО «Институт реакторных материалов», г. Заречный, Свердловской области

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» в своем положительном заключении, подписанном Гервасьевым Михаилом Антоновичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой металловедения, указала, что диссертационная работа Старикова С.А. «представляет собой законченное научное исследование, позволяющее получить не только важные знания о физических процессах, протекающих при радиационном или деформационном воздействии, но и создающее практические возможности для совершенствования технологических

приемов получения эффективных реакторных материалов. С учетом актуальности выбранной темы диссертации, обоснованности научных положений и сформулированных выводов, научной и практической значимости можно утверждать, что представленная работа в полной мере отвечает требованиям ВАК «Положение о присуждении ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям» и ее автор, Стариков Сергей Анатольевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук».

Соискатель имеет 14 опубликованных работ по теме диссертации, из них статей, опубликованных в журналах, входящих в перечень ВАК, - 4, тезисов докладов в материалах всероссийских и международных конференций – 9, одна статья опубликована в электронном журнале. Общий объем научных изданий составляет 7.7 печатных листов. Автором предложена теоретическая модель неравновесной деформационно-индуцированной сегрегации в условиях интенсивной пластической деформации. Исследованы перераспределения атомов легирующих элементов - никеля и хрома, а также образование сегрегаций при интенсивной пластической деформации в стабильных аустенитных сплавах типа Fe-Cr-Ni в зависимости от температуры деформации, состава сплава, продолжительности и интенсивности деформирования, скорости генерации точечных дефектов. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Исследование деформационно-индуцированной сегрегации в сплаве Fe-Cr-Ni / А. Р. Кузнецов, С. А. Стариков, В. В. Сагарадзе, И. А. Степанов, В. А. Печенкин, М. Гирзиг // Физика металлов и металловедение. — 2004. — Т. 98. № 3. — С. 65–71.

2. Модель деформационно-индуцированной сегрегации на движущейся границе зерна в сплаве Fe-Cr-Ni / С. А. Стариков, А. Р. Кузнецов, В. В. Сагарадзе, В. А. Печенкин, И. А. Степанов // Физика металлов и металловедение. — 2006. — Т. 102. № 2. — С. 147–151.

3. Влияние температуры и скорости генерации точечных дефектов на процессы деформационно-индуцированной сегрегации в сплаве Fe-Cr-Ni / С. А. Стариков, А. Р. Кузнецов, В. В. Сагарадзе, В. А. Печенкин, И. А. Степанов // Физика металлов и металловедение. — 2010. — Т. 109. № 4. — С. 407–414.

4. Кинетика развития деформационно- и радиационно-стимулированной сегрегации в сплаве Fe-Cr-Ni / С. А. Стариков, А. Р. Кузнецов, В. В. Сагарадзе, Ю. Н. Горностырев, В. А. Печенкин, И. А. Степанов // Физика металлов и металловедение. — 2012. — Т. 113. № 3. — С. 255–260.

На диссертацию и автореферат поступило 9 отзывов. Все отзывы положительные. В них отмечается актуальность темы диссертационной работы, научная новизна полученных результатов, их теоретическая и практическая значимость. Отзывы без замечаний поступили: от Симонова Юрия Николаевича, доктора технических наук, заведующего кафедрой «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь; от Арбузова Вадима Леонидовича, кандидата физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Российской академии наук, г. Екатеринбург.

Замечания содержатся в следующих отзывах:

1. от Рогожкина Сергея Васильевича, доктора физико-математических наук, начальника отдела, НИЦ «Курчатовский институт» ИТЭФ, г. Москва.

Замечание: в используемой теоретической модели деформационно-индуцированной сегрегации, учитывающей диффузионные потоки междоузельных атомов, пренебрегается энергией связи смешанных гантелей.

2. от Красикова Евгения Алексеевича, доктора технических наук, начальника лаборатории, НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва.

Замечания: 1) следовало бы больше уделить внимания прикладным вопросам как, например, влияние примесей, а также более глубокой проработки вопроса условий адекватности моделирования развития процессов радиационно-индуцированной сегрегации с помощью интенсивной пластической деформации; 2) в работе не нашлось места ссылкам на работы известного специалиста по свойствам аустенитных сплавов в условиях радиационного воздействия В.Н. Воеводина, а также на работы последних лет, например, диссертацию З.В. Лаврухиной, защищенной менее года назад.

3. от Бондаренко Геннадия Германовича, доктора физико-математических наук, профессора, МИЭМ НИУ ВШЭ, г. Москва.

Замечания: 1) приведенный в автореферате рисунок 1 малоинформативен. Следовало бы или использовать рисунок более высокого качества, или разместить на рисунке необходимые пояснения; 2) при разработке математической модели деформационно-индуцированной сегрегации в диссертации принято, что при интенсивной пластической деформации генерируется сопоставимое количество вакансий и междоузельных атомов. Однако при использовании данной модели в сплаве Fe-Cr-Ni принимаются следующие значения энергии образования точечных дефектов: 1.6 эВ для вакансии и 4 эВ для междоузельных атомов. Как при таком различии в энергиях образования точечных дефектов разного вида могут возникнуть их сопоставимое количество?

4. от Беляева Сергея Павловича, доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника, руководителя группы, НИЦ «Курчатовский институт»-ПИЯФ, г. Гатчина.

Замечания: 1) особенности строения исследуемого аустенитного сплава Fe-12Cr-30Ni учитывались лишь тем, что выбирались соответствующие энергии образования и миграции точечных дефектов для никеля, хрома и железа. Означает ли это, что предлагаемая модель будет работать и для любого другого трехкомпонентного сплава со структурой ГЦК, ОЦК и ГПУ с учетом соответствующих изменений в величинах энергий активаций? Каковы ограничения предлагаемой модели? 2) при разработке математической модели деформационно-индуцированной сегрегации в диссертации принято, что при

интенсивной пластической деформации генерируется сопоставимое количество вакансий и междоузельных атомов. Однако при использовании данной модели в сплаве Fe-Cr-Ni принимаются следующие значения энергии образования точечных дефектов: 1.6 эВ для вакансии и 4 эВ для междоузельных атомов. Как при таком различии в энергиях образования точечных дефектов разного вида могут возникнуть их сопоставимое количество?

5. от Цепелева Аркадия Борисовича, доктора физико-математических наук, профессора и кандидата технических наук Лукина Евгения Игоревича, ИМЕТ РАН, г. Москва.

Замечания: 1) насколько вообще имеет смысл усреднять концентрацию примеси по координате (объему), если сегрегация – это по определению неравномерность распределения примеси по координате около стока? 2) на рисунке 8 показана зависимость усредненных значений концентрации никеля от времени облучения сплава X12H30 при  $K = 10^{-4}$  сна/с. Почему такая величина? Для реакторного облучения более разумной представляется величина  $K = 10^{-6}$  сна/с; 3) для практической оценки результатов исследования желательно было бы представить данные об изменении физико-механических свойств Fe-Cr-Ni сплава, подвергнутого интенсивной пластической деформации и облучению высокоэнергетическими частицами.

6. от Добаткина Сергея Владимировича, доктора технических наук, профессора и кандидата технических наук Рыбальченко Ольги Владиславовны, ИМЕТ РАН, г. Москва.

Замечания: 1) все-таки хотелось бы узнать, чем хороша или плоха деформационно-индуцированная сегрегация никеля для механических и эксплуатационных свойств аустенитных Fe-Cr-Ni сплавов? 2) в автореферате не указан размер образца, используемого при кручении под высоким давлением, и не указана область образца для электронномикроскопического исследования, что важно при учете неоднородности деформации по радиусу.

7. от Глезера Александра Марковича, доктора физико-математических наук, профессора, НИТУ «МИСиС», г. Москва.

Замечания: 1) в работе утверждается, что зернограничные сегрегации, формирующиеся при деформационных и радиационных воздействиях, описываются сходными закономерностями. Этот результат требует более детальных пояснений, поскольку не учитывает возможного влияния чрезвычайно высокой плотности дислокаций и/или дисклинаций, принимающих активное участие в деформационных процессах; 2) представляется не совсем удачным термин «аустенитные сплавы», часто используемый в тексте автореферата. По-видимому, более правильным было бы использование термина «ГЦК сплавы».

Выбор официальных оппонентов доктора физ.-мат. наук, профессора В.В. Овчинникова и доктора тех. наук А.В. Козлова и ведущей организации обосновывается публикациями оппонентов, а также тематикой структурного подразделения ведущей организации и публикациями его сотрудников, относящимися к сфере исследований, которым посвящена диссертация.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований** получены данные о локализации и образовании сегрегаций в условиях интенсивной пластической деформации на примере аустенитных сплавов Fe-Cr-Ni:

1. По изменению приграничного дифракционного контраста на электронно-микроскопических изображениях аустенитного сплава Fe-Cr-Ni показано, что деформационно-индуцированная сегрегация никеля происходит вблизи границ зерен.

2. Установлено, что в трехкомпонентном сплаве Fe-Cr-Ni экспериментальные данные по деформационно-индуцированной сегрегации в условиях интенсивной пластической деформации хорошо описываются в рамках теоретической модели неравновесной радиационно-индуцированной сегрегации с учетом рождения и поглощения точечных дефектов, а также их взаимной рекомбинации.

3. Теоретически показано, что повышение температуры деформации приводит к ослаблению сегрегации вплоть до ее полного исчезновения, что

согласуется с экспериментальными данными. Перемещение границ зерен не приводит к подавлению приграничных сегрегационных процессов, в том числе и при температурах близких к комнатным.

4. Показано, что на кривой зависимости концентрации атомов никеля на границе зерна от скорости генерации точечных дефектов имеется максимум, положение которого зависит от температуры деформации. Временная зависимость концентрации атомов никеля на границе зерна является немонотонной как в случае движущейся, так и покоящейся границы зерна.

**Теоретическая значимость** исследования состоит в том, что выяснены условия перераспределения атомов легирующих элементов и образования сегрегации никеля при интенсивной пластической деформации в стабильных аустенитных сплавах типа Fe-Cr-Ni.

**Практическая значимость** результатов исследования заключается в том, что деформационно-индуцированная и радиационно-индуцированная сегрегации на границах зерен описываются сходными закономерностями, что позволяет проводить прогнозирование радиационно-индуцированной сегрегации в различных реакторных сплавах с помощью данных по деформационно-индуцированной сегрегации, полученных в условиях интенсивной пластической деформации.

**Достоверность** полученных результатов обеспечивается использованием разработанного ранее и апробированного в Физико-энергетическом институте им. А.И. Лейпунского ГНЦ РФ пакета программ RIS, а также согласием полученных в диссертации данных с результатами известных из литературы результатов.

**Личный вклад** соискателя состоит в непосредственном участии в постановке задач настоящей работы. Соискатель лично выполнил все теоретические расчеты, а также участвовал в обработке экспериментальных

данных. Соискатель принимал непосредственное участие в написании статей и тезисов докладов.

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу и соответствует критериям п.9 и п.14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 19.05.2017 года диссертационный совет принял решение присудить Старикову Сергею Анатольевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 5 докторов по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя  
диссертационного совета,  
доктор физ.-мат. наук

Н.Г. Бебенин

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор физ.-мат. наук

Т.Б. Чарикова

22.05.2017.