

## Заключение

диссертационного совета Д 212.141.17, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 12 февраля 2020 г. № 3

О присуждении Симич-Лафицкому Ненаду Драгановичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Симметрично допустимые структурные модели образования карбидных фаз в сталях и сплавах» по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния принята к защите 09.12.2019 г. (протокол заседания № 27) диссертационным советом Д 212.141.17, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, приказ №105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель, Симич-Лафицкий Ненад Драганович, 1992 года рождения.

В 2015 году соискатель окончил с отличием федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» по специальности «Материаловедение в машиностроении», в 2019 году окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

В настоящее время соискатель работает в АО «Фазотрон-ВМЗ», в конструкторском отделе, в должности ведущего инженера-конструктора.

Диссертация выполнена на кафедре материаловедения ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук Крапошин Валентин Сидорович, профессор, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры материаловедения.

Официальные оппоненты:

Капуткина Людмила Михайловна – доктор физико-математических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», главный научный сотрудник кафедры обработки металлов давлением;

Дмитриенко Владимир Евгеньевич – доктор физико-математических наук, Институт кристаллографии ФГУ «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук, главный научный сотрудник отдела теоретических исследований дали положительные отзывы на диссертацию.

В то же время официальные оппоненты сделали ряд критических замечаний, на которые соискатель ученой степени Симич-Лафицкий Н.Д. дал убедительные разъяснения.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, в своем положительном отзыве подписанном Поповым Артемием Александровичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой термообработки и физики металлов, и утвержденном Кружаевым Владимиром Венедиктовичем, кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником, проректором по науке, указала, что диссертация Симич-Лафицкого Н.Д. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне, в которой решена актуальная научная задача разработки атомистических механизмов фазовых превращений, как с участием карбидных фаз, так и без них. Теоретическая значимость работы состоит

в создании для структур металлов и карбидов единого структурно-симметричного подхода, который использует расширения классической кристаллографии для определения необходимых (симметричных) условий образования карбидных фаз в сталях и сплавах. Практической значимостью обладают разработанные модельные представления и установленные закономерности выделения карбидных фаз и комплексных неметаллических включений и их влияния на структуру и свойства. Они могут быть использованы для создания новых высокопрочных микролегированных сталей и оптимизации технологий их производства.

Критические замечания, высказанные в отзыве ведущей организации, Симич-Лафицкий Н.Д. подробно прокомментировал.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 10 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликованы 4 работы, 3 из них – в рецензируемых научных изданиях, индексируемых международными базами Scopus и WoS. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Общий объем публикаций – 3 п.л., из которых 1,61 п.л. принадлежат лично соискателю. Требования п.п. 11 и 13 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемые к публикации основных научных результатов диссертации, выполняются. Требования, установленные п. 14 действующего Положения о присуждении ученых степеней, соблюдаются. Сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. The symmetry origin of the austenite - cementite orientation relationships in steels / N.D. Simich-Lafitskiy [et al.] // Zeitschrift für Kristallographie - Crystalline Materials. 2019. V.234(4). P.237-245.
2. Formation of the cementite crystal in austenite by transformation of triangulated polyhedra / N.D. Simich-Lafitskiy [et al.] // Acta Crystallographica Section B structural science, crystal engineering and materials. 2019. V. B75. P. 325-332 .
3. Механизм зарождения выделений карбидов тугоплавких металлов при горячей прокатке автолистовой стали / Н.Д. Симич-Лафицкий [и др.] // Metalloved-

дение и термическая обработка металлов. 2019. №11. С.3-8.

4. Cr\_Fe\_Bond Расчет энергии связи атомов железа и хрома: свидетельство №2017610419 РФ / М.Ю. Семенов, Н.Д. Симич-Лафицкий. Заявл. 01.09.2016 г.; опубл. 10.01.2017.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: **Крыловой С.Е.**, доктора технических наук, профессора кафедры материаловедения и технологии материалов ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», **Савченко А.Г.** кандидата физико-математических наук, заведующего кафедрой физического материаловедения ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», **Шацова А.А.**, доктора технических наук, профессора кафедры металловедения, термической и лазерной обработки металлов ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», **Могутнова Б.М.**, доктора химических наук, профессора ФГУП «ЦНИИчермет имени И.П. Бардина», **Кашенко М.П.**, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой физики ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», **Яковлевой И.Л.**, доктора технических наук, старшего научного сотрудника, главного научного сотрудника лаборатории физического металловедения ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, **Шура Е.А.**, доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника Научного центра «Рельсы, сварка, транспортное материаловедение» АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта»; **Баянкина В.Я.**, доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника лаборатории электронной структуры поверхности отдела физики и химии поверхности Физико-технического института ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук»; **Кондратьева С.Ю.**, доктора технических наук, профессора, профессора Высшей школы физики и технологий материалов ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»; **Хлыбова А.А.**, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Материаловедение. Технологии материалов и термическая обработка металлов» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева».

Все отзывы положительные. В качестве замечаний отмечено, что в тексте автореферата отсутствует описание структурных и фазовых механизмов образования карбидных фаз и комплексных неметаллических включений в определенных марках сталей. Не представлены фотографии структур, подтверждающие изменения в сталях, вызванные превращениями, основанными на срастании сульфидов, оксидов и карбидов в единое комплексное включение. Не указаны конкретные режимы обработки, влекущие за собой данные изменения в сталях и сплавах, а также отсутствуют данные, указывающие на изменение каких-либо свойств и прирост пластичности материала (Крылова С.Е.). Описания преобразования фрагмента цементита в аустенит, результатом которого является образование спирали из октаэдров ГЦК структуры (стр. 9-10 автореферата), а также модель строения промежуточного слоя в комплексных неметаллических включениях, наблюдающихся в листовых низкоуглеродистых сталях (стр. 12), требуют дополнительных иллюстраций, т.к. без них не ясно, какие фрагменты ГЦК структуры при этом получают (Савченко А.Г.). Результаты не были сопоставлены с мировыми аналогами, кто еще создает трехмерные модели. Не ясна точность описания эксперимента (Шацов А.А.). Из текста автореферата не понятно, почему и каким образом углерод оказывается в стопках тригональных призм. На стр. 10 не указано полученное ориентационное соотношение между ромбоэдром (встроенным в структуру цементита) и всем кристаллом цементита, также на рис. 5 не показана система координат ромбоэдра, относительно которой было определено соотношение. Нет упоминания о длине и количестве полиэдров при отклонении размера ребра, как в меньшую, так и в большую сторону (Могутнов Б.М.). Общие выводы, представленные в автореферате, очень многословны (Яковлева И.Л.). Автором не рассмотрены особенности структурных моделей образования карбидных фаз из аустенита в случае протекания эвтектоидного превращения, что имеет большое значение для средне- и особенно для высокоуглеродистых сталей (Шур Е.А.). При описании механизмов превращения (цементит-аустенит и образование карбидов типа МС) не учтено влияние легирующих элементов и неоднородности их распределения по объему частицы, а также нет указания на конкретные сплавы, на примере которых рассматриваются превращения (Баянкин В.Я.).

На все критические вопросы, содержащиеся в отзывах на автореферат диссертации, Симич-Лафицкий Н.Д. дал аргументированные ответы.

В отзывах сделан вывод о том, что диссертация Симич-Лафицкого Ненада Драгановича отвечает требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается строгим соответствием направлений научных исследований, выполняемых оппонентами (д.ф.-м.н. Капуткина Л.М. и Дмитриенко В.Е. имеют научную специальность 01.04.07) и реализуемых в ведущей организации, тематике представленной диссертационной работы и наличием публикаций в области физики конденсированного состояния.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработана** структурно-геометрическая модель механизма полиморфного превращения между гранецентрированной кубической (ГЦК) и гексагональной плотной (ГП) упаковками;

**предложен** новый подход к рассмотрению образования и превращений в кристаллах в процессе внешних воздействий (температурных), основанный на том, что все структурные превращения в кристаллах – есть результат преобразования кластеров. На основе данного подхода предложен единый механизм превращения между гексагональной и кубической плотными упаковками, образования дефекта упаковки и когерентной границы двойника в плотноупакованных структурах, предложена модель механизма взаимного превращения аустенит↔цементит, которая одновременно оказалась механизмом образования зародыша;

**доказано**, что ориентационное соотношение ромбоэдрических фрагментов структуры цементита (по строению полностью совпадающих с примитивной ячейкой ГЦК-упаковки решетки аустенита) относительно всего кристалла цементита совпадает с экспериментально наблюдавшимися ориентационными соотношениями аустенит/цементит;

**введены** понятия о симметрично-допустимых условиях образования сростков кристаллов неметаллических фаз в сталях и геометрический критерий запрета на образование сростков.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**доказано**, что предложенный единый структурно-симметричный подход к изучению превращений и сопряжений кристаллических структур позволяет использовать расширения классической кристаллографии для определения необходимых (симметричных) условий образования карбидных фаз и комплексных включений в сталях и сплавах при внешних воздействиях;

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы** современные методы компьютерного моделирования, физики конденсированного состояния, кристаллографии;

**изложена** локальная теорема кристаллографии, которая утверждает о том, что трехмерно-периодическая кристаллическая структура есть особый случай системы Делоне;

**раскрыты** условия симметрично-допустимого образования сростков неметаллических фаз, как с участием, так и без карбидных фаз в сталях;

**изучены:** изменения в кристаллической структуре при взаимных превращениях аустенит – цементит в сталях, связь наблюдаемых ориентационных соотношений между рассматриваемыми фазами; особенности формирования комплексных неметаллических включений, формирующихся в низкоуглеродистых сталях в процессе, например, термомеханических воздействий (горячей прокатки);

**проведена** адаптация локальной теоремы кристаллографии к построению структурно-геометрической модели межфазных границ в комплексных неметаллических включениях.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны** модельные представления и установлены закономерности выделения карбидных фаз и комплексных неметаллических включений, которые могут быть использованы для разработки новых высокопрочных микролегированных сталей и основ технологий их производства;

**определены** закономерности симметрично-допустимого образования сростков неметаллических фаз в сталях, которые могут быть использованы для расширения числа потенциально возможных микролегирующих элементов в сталях; **представлены** перспективные возможности использования подхода, основанного на локальной теореме кристаллографии и представлении о том, что все превращения в кристаллических структурах – это преобразование кластеров путем переброски диагонали в «ромбе», составленном из двух соседних треугольных граней, для изучения структурных превращений в сталях и сплавах.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**теории** построены на основе корректного использования методов физики конденсированного состояния, кристаллографии;

**идеи** базируются на анализе и обобщении большого объема литературных данных;

**использовано** сравнение полученных результатов с ранее известными, полученными на основе различных подходов (включая теоретические и экспериментальные) и представленными в литературе;

**установлено** количественное совпадение полученных в работе результатов с независимыми экспериментальными и расчетными данными (Pitsch W., Petch N.J., Tompson S.W., Howell P.R, Счастливец В.М., Яковлева И.Л.);

**использованы** современные методы обработки полученных результатов, соответствующие целям и задачам исследований.

**Личный вклад соискателя состоит в:** самостоятельном выполнении сбора и систематического анализа литературных данных по теме, разработке модели механизма превращения аустенит/цементит, определении ориентационных соотношений (ОС) аустенит/цементит в разработанной модели, ОС ромбоэдра цементита с единым кристаллом цементита, разработке модели механизма полиморфного превращения ГЦК/ГПУ и образования дефекта упаковки ГЦК, модели области, замыкающей границу двойника или дефекта упаковки ГЦК структуры, модели образования карбидов тугоплавких металлов при горячей прокатке листовой стали, а также модели атомной структуры граничного слоя в комплексных неметаллических включениях. Все представленные результаты получены автором лично, либо при непосредственном его участии.



Диссертационная работа соответствует пунктам 2, 3 и 5 паспорта научной специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертационная работа Симич-Лафицкого Ненада Драгановича «Симметрично-допустимые структурные модели образования карбидных фаз в сталях и сплавах» соответствует критериям, установленным п.п. 9 и 10 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. Она является самостоятельной завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной для физики конденсированного состояния научной задачи, связанной с разработкой атомистических механизмов фазовых превращений в кристаллах, как с участием карбидных фаз, так и без них. Диссертация Симич-Лафицкого Н.Д. обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку.

На заседании 12 февраля 2020 года диссертационный совет принял решение присудить Симич-Лафицкому Н.Д. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 13 докторов наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 14, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета

Коржавый Алексей Пантелеевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

Лоскутов Сергей Александрович

Дата оформления Заключения 12 февраля 2020 года