

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИМАШ УрО РАН

доктор технических наук

С.В. Смирнов

«25» 04 2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Пасынкова Александра Юрьевича

«Термодинамика и кинетика эволюции структуры и фазового состава низколегированных сталей при аустенитизации и горячей деформации», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Актуальность темы выполненной диссертации

Прогнозирование равновесного фазового состава и эволюции фазового состава и структуры сплавов при термической и термомеханической обработке является актуальной задачей уже не первый десяток лет. Кроме того, выбранная область приложения – стали с карбонитридным упрочнением – также весьма интересна с практической точки зрения, поэтому развитие методов моделирования в данной области важно как с точки зрения фундаментальной науки, так и для применения в народном хозяйстве.

Из приведённого автором литературного обзора видно, что к настоящему времени уже создано несколько программ для прогнозирования фазового состава и структуры в многокомпонентных многофазных системах. Однако они достаточно дороги и либо не учитывают влияние вторых фаз на структурообразование, либо делают это слишком упрощенно. Особенно актуально создание подобных программ в России, имеющей мощную металлургическую промышленность. Поэтому разработанные автором алгоритмы представляют как научный, так и практический интерес.

Структура и содержание диссертации

Диссертация Пасынкова А.Ю. включает в себя введение, пять глав, общие выводы, список литературы из 183 наименований. Изложена на 118 листах и содержит 22 рисунков и 5 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, научная новизна, практическая и теоретическая значимость исследования, в связи с чем сформулированы цель и задачи, основные положения работы, выносимые на защиту, приведены данные о личном вкладе автора.

В первой главе приведен обзор литературы, посвященный термодинамическому моделированию. Рассмотрены существующие модели для описания эволюции вторых фаз. Приводятся существующие на сегодняшний день подходы и модели к описанию эволюции структуры сталей при деформации.

Во второй главе проанализированы существующие экспериментальные данные и термодинамические параметры для систем, включающих Fe, V, Nb, Ti, C, N, Al, Cr, Mn, Ni и Si и составлено термодинамическое описание одиннадцати компонентной системы Fe-V-Nb-Ti-C-N-Al-Cr-Mn-Ni-Si для температурного диапазона стабильного аустенита; проведены расчёты о влиянии на карбонитридообразование таких элементов, как Al, Cr, Mn, Ni и Si в данной системе и проанализированы их результаты. Результаты расчётов представлены в виде графиков, что позволяет легко оценивать фазовый состав системы при выборе состава сплава.

В третьей главе, посвящённой кинетике диффузионных фазовых превращений, обобщен метод моделирования эволюции частиц на случай, когда в матричной фазе могут присутствовать несколько вторых фаз. Этот метод ориентирован, прежде всего, на моделирование эволюции карбонитридных частиц в сталях. Он учитывает полидисперсность ансамблей карбонитридных частиц и позволяет учесть все этапы эволюции частиц – зарождение, рост, растворение и коагуляцию.

В четвертой главе представлен способ применения результатов расчетов кинетической модели для оценки размера зерна аустенита. Показано, что во многих случаях на основе результатов расчетов эволюции выделений можно удовлетворительно прогнозировать размер аустенитного зерна в сталях с карбонитридным упрочнением.

Пятая глава посвящена прогнозированию поведения карбонитридных выделений сложного состава и изменения среднего размера зерна аустенита при горячей деформации микролегированной стали. В основе метода лежит совместное использование моделей, описывающих кинетику изменения среднего размера зерна, изменение плотности дислокаций при деформации и скорость рекристаллизации, с предложенной ранее моделью

для описания эволюции карбонитридных выделений. Такой подход позволяет учесть большинство факторов, определяющих размер аустенитных зёрен в сталях, подвергаемых горячей деформации.

В общих выводах приведены основные результаты, полученные при выполнении диссертационной работы.

Научная новизна

В работе получен ряд новых результатов. Среди наиболее важных:

Впервые построено термодинамическое описание одиннадцати компонентной системы Fe–V–Nb–Ti–C–N–Al–Cr–Mn–Ni–Si для температурного диапазона стабильного аустенита.

Разработана кинетическая модель для описания эволюции вторых фаз в сплавах. Отличительной особенностью модели является возможность моделировать эволюцию нескольких составов вторых фаз с учетом полидисперсности ансамблей выделений. Модель позволяет описать все этапы эволюции частиц вторых фаз: зарождения, роста, растворения и коагуляции.

Предложена модель, в рамках которой описывается эволюция структуры аустенита при горячей деформации и рекристаллизации для случая, когда процессы деформации и рекристаллизации могут сопровождаться выделением карбонитридных фаз, с учетом взаимного влияния этих процессов и разработаны алгоритмы и программы, позволяющие моделировать эволюцию структуры и фазового состава при горячей деформации.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

В основе разработанных методов лежат разумные модельные упрощения, незначительно снижающие общность задачи и обеспечивающие высокую достоверность результатов моделирования. Лишь одно из упрощений, касающееся формы частиц, кажется неправдоподобным. В данной работе форма частиц предполагается сферической, в реальности же они могут иметь форму правильных многогранников. Однако проведённое сравнение результатов расчётов с экспериментом показывает удовлетворительное согласие, так что, по-видимому, данное допущение вполне применимо.

Контроль достоверности результатов в данной диссертационной работе дополнительно контролируется путём сравнения результатов расчётов с экспериментальными данными, имеющимися в литературе.

Сформулированные в диссертации положения и выводы обоснованы теоретическими решениями и экспериментальными данными, и не противоречат известным

положениям технических и фундаментальных наук, а также доказанным схожим выводам, предложенным авторами ранее проведенных исследований.

Недостатки в диссертации и автореферате

1. При построении модели эволюции фазового состава и структуры (гл. 5) есть несостыковки при описании процесса зародышеобразования. Так на стр. 87 скорость зарождения описывается уравнением (5.6), а на стр. 89 указывается, что число образовавшихся зерен можно рассчитать по уравнению (5.16).
2. При построении модели эволюции фазового состава и структуры (гл. 5) не учитывается часто наблюдаемое явление - торможение миграции границы зерна соседними рекристаллизующимися зернами.
3. Автор недостаточно обоснованно предполагает, что плотность дислокаций в рекристаллизованном материале (зерне) зависит только от температуры (уравнение 5.11).
4. В тексте диссертации часто встречаются расплывчатые утверждения, такие как "незначительное растворение частиц", "увеличение радиуса частиц невелико", "заметная роль частиц в сдерживании роста аустенитного зерна". Такие неопределенности особенно не допустимы в выводах: "заметное" или "незначительное влияние" в выводах 2, 4 и 5, "удовлетворительное согласие" в выводе 7, "учтено большинство факторов" в выводе 8, "качественное и количественное согласие" в выводе 9. Необходимы численные показатели этих утверждений или конкретная аргументация.
5. Автор не объясняет, почему расчеты проведены для сталей разных марок: в гл 2 говорится, что исследования проведены для стали 10Г2ФБИО, в гл 3 расчеты проведены для сталей без марганца с гораздо меньшим содержанием азота, а в гл. 4 рассмотрены марганцовистые стали, в том числе с кремнием.

Высказанные замечания имеют частный характер и не влияют на общую положительную оценку работы Пасынкова А.Ю., которая выполнена на высоком научном уровне, содержит оригинальные и достоверные научные результаты, а также полезные практические рекомендации.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

Диссертация соответствует паспорту специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния» пункту 5 «Разработка математических моделей построения фазовых диаграмм состояния и прогнозирование изменения физических свойств конденсированных веществ в зависимости от внешних условий их нахождения».

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Значимость результатов для науки и производства

Высокая актуальность и практическая значимость работы Пасынкова А.Ю. подкрепляется тем, что представленные в ней результаты, были опубликованы в достаточно большом количестве статей и доложены на ряде региональных и международных конференций.

Немаловажным является то, что автором продолжают развиваться как термодинамическое, так и кинетическое направление исследований. Очевидным направлением развития программы для прогнозирования структуры и фазового состава является моделирование стадии черновой прокатки, включающей несколько проходов в температурном диапазоне стабильного аустенита и моделирование $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения. Но даже использование программы в текущем виде на любом металлургическом предприятии уже способно принести ощутимую пользу в виде экономии времени и денег на проведении экспериментальных исследований. Если данная программа пока не готова для коммерческого использования, хорошим подспорьем для соответствующих подразделений металлургических предприятий при разработке новых марок сталей и режимов обработки могут стать приведённые в работе результаты расчётов карбонитридообразования для низколегированных малоуглеродистых сталей.

Следует также отметить, что, несмотря на то, что разработанные в данной работе методы моделирования применялись для сталей с карбонитридным упрочнением, в своей основе они более фундаментальны и после некоторой модификации могут быть применены для довольно широкого круга практических задач.

Заключение

Диссертационная работа Пасынкова А.Ю. «Термодинамика и кинетика эволюции структуры и фазового состава низколегированных сталей при аустенитизации и горячей деформации», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые подходы и методы к моделированию эволюции структуры низколегированных сталей для температурной области стабильного аустенита.

Диссертационная работа носит завершённый характер и удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением

Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, а ее автор Пасынков Александр Юрьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация, автореферат диссертации и отзыв обсуждены на научном семинаре отдела Физических проблем машиностроения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук 25 апреля 2019 г., протокол № 217.

Главный научный сотрудник лаборатории
микромеханики материалов ИМАШ УрО РАН,
доктор технических наук, доцент

Н.Б. Пугачева

Старший научный сотрудник лаборатории
механики деформаций ИМАШ УрО РАН,
кандидат технических наук

А.С. Смирнов

620049, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, д. 34, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук (ИМАШ УрО РАН);
тел.: +7 (343) 374-47-25; e-mail: ges@imach.uran.ru

Подписи Н.Б. Пугачевой, Смирнова А.С. заверяю
ученый секретарь ИМАШ УрО РАН,
кандидат технических наук

А.М. Поволоцкая

С отзывом ознакомлен.

Пасынков А.Ю.

29.04.20..

Сведения о ведущей организации

Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	ИМАШ УрО РАН
Ведомственная принадлежность	Российская академия наук
Почтовый индекс, адрес организации	620049 г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34
Веб-сайт	http://r.imach.uran.ru
Телефон	тел. (343) 374-47-25, факс: (343) 374-53-30
Адрес электронной почты	svs@imach.uran.ru

Основные направления научной деятельности

1. Механика деформируемых тел, перспективных материалов и технологий, конструкций и сооружений.
2. Автоматизированные системы измерения, неразрушающего контроля материалов и диагностики ресурса машин.
3. Создание основ алгоритмического, программного и аппаратного обеспечения систем автоматического управления сложными объектами.
4. Механика и процессы управления транспортных и тяговых машин.

Публикации в сфере исследований, которым посвящена диссертация

1. Шабашов В.А. Макаров А.В. Козлов К.А. Сагарадзе В.В. Заматовский А.Е. Волкова Е.Г. Лучко С.Н. Деформационно-индуцированное растворение и выделение нитридов в аустените и феррите высокоазотистой нержавеющей стали // Физика металлов и металловедение. 2018. Т. 119. – № 2. С. 93-204. DOI: 10.7868/S0015323018020110.
2. Макаров А.В. Скорынина П.А. Волкова Е.Г. Осинцева А.Л. Влияние нагрева на структуру, фазовый состав и микромеханические свойства метастабильной аустенитной стали, упрочненной наноструктурирующей фрикционной обработкой // Физика металлов и металловедение. 2018. Т. 119. № 12. С. 1257-1264. DOI: 10.1134/S0015323018120112.
3. Горюлева Л.С. Горкунов Э.С. Задворкин С.М. Макаров А.В. Влияние интенсивного деформационного воздействия на структуру и физико-механические свойства высокоуглеродистой стали // Вектор науки ТГУ. 2017. № 3 (41). С. 40-46.
4. Макаров А.В. Лучко С.Н. Волкова Е.Г. Осинцева А.Л. Литвинов А.В. Структура, фазовый состав и микромеханические характеристики высокоазотистой аустенитной стали после высокотемпературного старения и деформации сдвигом под давлением // Вектор науки ТГУ. 2017. № (4) 42. С. 59-66.
5. Горкунов Э.С. Задворкин С.М. Горюлева Л.С. Макаров А.В. Печеркина Н.Л. Структура и механические свойства высокоуглеродистой стали, подвергнутой интенсивному

деформационному воздействию // Физика металлов и металловедение. 2017. Т. 118. – № 10. С. 1055-1064.

6. Макаров А.В. Самойлова Г.В. Мамаев А.С. Осинцева А.Л. Саврай Р.А. Влияние предварительной деформационной обработки на упрочнение и качество азотированной поверхности аустенитной нержавеющей стали // Вектор науки ТГУ. 2017. № (4) 42. С. 67-74.
7. Пугачева Н.Б. Мясникова М.В. Мичуров Н.С. Моделирование упругой деформации лазерных сварных соединений аустенитной коррозионностойкой стали и титанового сплава с промежуточной медной вставкой // Физика металлов и металловедение. 2016. том 117, № 2. С. 216 – 224.
8. Березин И.М. Поляков А.П. Математическое моделирование процесса волочения прутков, полученных из титановой губки, с учетом порообразования // Известия ВУЗов. Цветная металлургия. 2016. № 4. С. 47-57.
9. Гладковский С.В. Кутенева С.В. Каманцев И.С. Сергеев С.Н. Сафаров И.М. Влияние пластической деформации на структуру и механические свойства сверхнизкоуглеродистой IF-стали в монолитном материале и в составе слоистого композита // Физика металлов и металловедение. 2016. Т. 117. № 10. С. 1105-1112.
10. Смирнов С.В. Коновалов А.В. Мясникова М.В. Халевицкий Ю.В. Смирнов А.С. Игумнов А.С. Численное исследование особенностей локализации пластической деформации и разрушения металломатричного композита Al/SiC // Физическая мезомеханика. 2017. Т. 20. – № 2. С. 61-70.

Директор ИМАШ УрО РАН
Доктор технических наук

Смирнов С.В.