

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУН Института
машинovedения УРО РАН
доктор технических наук

С. В. Смирнов

«29» ноября 2018 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации

*на диссертационную работу Созыкиной Анны Сергеевны
на тему: «Моделирование превращений при аустенитизации и закалке и
прогнозирование твердости высокохромистых сталей и чугунов на основе
термодинамических и кинетических расчетов», представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Ме-
талловедение и термическая обработка металлов и сплавов*

Актуальность темы работы

Высокохромистые стали и чугуны получили широкое распространение в различных отраслях промышленности. Данные сплавы обладают высокой износостойкостью, которая зависит от типа и количества карбида, а также от соотношения количества мартенсита и остаточного аустенита. Эти параметры определяются химическим составом сплава, температурой и временем нагрева при аустенитизации для закалки. Растворение специальных карбидов приводит не только к снижению количества карбидных частиц, но и к увеличению содержания углерода и хрома в твердом растворе. А это в свою очередь определяет твердость образующегося мартенсита и температуру начала мартенситного превращения. Подбор химического состава и условий закалки, обеспечивающих необходимые в том или ином случае структуру и твердость стали или чугуна, осуществляется опытным путем.

В связи с этим разработка методики прогнозирования структуры и твердости высокохромистых сплавов после закалки в настоящее время является актуальной научно-технической задачей.

Структура и содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов по работе, списка литературы и 2 приложений. Объем диссертации составляет 153 страницы, список литературы содержит 144 наименования.

Во введении автором обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, показана новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе приводится обзор научно-технической литературы по высокохромистым сплавам, особенностям их применения, дополнительного легирования и термической обработки. Рассмотрено преимущество наличия в структуре карбида Cr_7C_3 над другими видами карбида. Показано большое разнообразие сплавов и обоснована необходимость предварительного моделирования. На основании этого сформулированы цель и задачи диссертационного исследования: разработать методику моделирования фазового состава сплавов Fe-Cr-C после закалки, проверить её путём сравнения с экспериментальными данными и использовать для подбора составов сплавов с заданными требованиями к структуре и твердости.

Во второй главе выполнена разработка методики прогнозирования фазового состава и твердости сплавов системы Fe-Cr-C после закалки.

Автор, опираясь на одно из известных термодинамических описаний системы, разработал алгоритм расчета равновесного состава аустенита.

Для расчета положения мартенситной точки автор получил зависимость, адаптированную для сплавов с высоким содержанием углерода и хрома. В полученном выражении учитывается взаимное влияние элементов на температуру начала мартенситного превращения.

В работе был проведен анализ зависимостей твердости фазовых составляющих от химического состава. Путем аппроксимации получено выражение для расчета твердости мартенсита в зависимости от содержания в нем углерода. Твердость остаточного аустенита рассчитывается с учетом фазового наклепа также в зависимости от содержания в нем углерода.

В третьей главе приведены результаты экспериментального исследования структуры и твердости некоторых высокохромистых сплавов. Проведено сравнение как собственных, так и литературных экспериментальных данных с

результатами расчета твердости и количества остаточного аустенита. Разработанная модель показала высокую достоверность.

Продемонстрировано, как следует учитывать присутствие в сплавах небольших количеств других легирующих элементов, помимо хрома, влияющих на положение мартенситной точки. В частности, путем экспериментального исследования на сканирующем электронном микроскопе автор показал, что марганец в изучаемых сплавах равномерно распределяется между γ -матрицей и карбидами.

Серьезным достижением автора является построение наглядных карт твердости и количества остаточного аустенита в зависимости от химического состава после закалки от различных температур. Такие карты безусловно полезны и с научной, и с практической точки зрения.

В четвертой главе рассмотрено влияние времени выдержки при аустенизации на растворение карбидов, а также показано, как следует учитывать влияние термической стабилизации аустенита на мартенситное превращение.

Для анализа кинетики растворения карбидов автор опирался на литературные экспериментальные данные о положении мартенситной точки при известном времени выдержки во время аустенизации. Получено уравнение для расчета объемной доли карбида и определены параметры этого уравнения. Проведен расчет влияния ближнего упорядочения для растворов внедрения и замещения на мартенситное превращение.

В конце диссертации сформулированы общие выводы, которые отражают наиболее важные результаты работы в целом.

Основные научные результаты и их значимость для производства

К основным научным результатам следует отнести:

1. В диссертации на основе классических подходов термодинамики и кинетической теории фазовых превращений разработана методика расчёта фазового состава и твёрдости сплавов системы железо-хром-углерод в закалённом состоянии, способная предсказывать соотношение структурных составляющих (мартенсита, остаточного аустенита и карбидов) в зависимости от химического состава сплава, температуры и длительности нагрева под закалку. Выведены зависимости кинетических параметров растворения карбидной фазы $(Cr,Fe)_7C_3$ в аустените во время выдержки перед закалкой от состава сплава и температуры.

2. Получена эмпирическая зависимость положения мартенситной точки от химического состава аустенита, применимая в том числе для высоких значений содержания углерода и хрома.

3. Экспериментально определено, что коэффициент распределения марганца между аустенитом и карбидом $(Cr,Fe)_7C_3$ близок к единице.

4. С учетом новых термодинамических данных построена уточнённая кинетическая модель ближнего упорядочения атомов внедрения и замещения в исследуемых сплавах. Сделана оценка влияния ближнего упорядочения на мартенситную точку.

Теоретическая значимость. Результаты работы могут быть полезными для дальнейшего изучения процессов и превращений в сплавах системы Fe-Cr-C и для разработки методики прогнозирования свойств после термической обработки более сложных систем.

Практическая значимость. Разработанная методика расчета фазового состава и твердости высокохромистых сплавов после закалки позволяет подбирать химический состав сплава без дорогостоящих экспериментов исходя из требований к структуре и твердости, а также подбирать параметры термической обработки, обеспечивающей оптимальные свойства. Она может быть полезной предприятиям, выпускающим продукцию из износостойких хромистых чугунов.

Полученные результаты работы достоверны и имеют существенную новизну. Автореферат диссертации правильно отражает ее основное содержание, научную новизну и выводы. Основные результаты работы опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК, и апробированы на ряде всероссийских и международных конференций.

В то же время по диссертации имеются следующие **замечания:**

1. Автор концентрирует свое внимание на сплавах, используемых в качестве износостойких материалов. Однако при построении модели он ограничивается расчетом твердости сплавов и не затрагивает непосредственно вопрос об их износостойкости.

2. Известно, что в ряде случаев повышенная износостойкость сплавов обеспечивается наличием в структуре метастабильного аустенита, превращающегося в мартенсит в ходе износа. Однако в работе вопрос о стабильности остаточного аустенита в изучаемых сплавах никак не обсуждается.

3. После закалки на мартенсит сплавы всегда подвергаются отпуску. Почему автор не учитывает эффекты отпуска, ограничиваясь рассмотрением структуры и твердости в закаленном состоянии?

4. В разделе 4.1 при построении модели растворения карбидов в ходе нагрева рассматривается два варианта, когда преимущественно растворяются «крупные» и «мелкие» частицы. Неясно, где проходит граница между ними?

5. В том же разделе 4.1 время выражается то в часах, то в минутах. В каких единицах следует подставлять время при расчете по формулам, которые предлагаются в работе?

Отмеченные выше недостатки не являются принципиальными и не влияют на общую положительную оценку диссертации.


Работа выполнена на достаточно высоком научном уровне. Выводы и результаты обоснованы и достоверны. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

Тематика выполненных исследований соответствует паспорту специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (п. 2 «Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях», п. 3 «Теоретические и экспериментальные исследования влияния структуры (типа, количества и характера распределения дефектов кристаллического строения) на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов.», п. 6 «Разработка новых и совершенствование существующих технологических процессов объемной и поверхностной термической, химико-термической, термомеханической и других видов обработок, связанных с термическим воздействием, а также специализированного оборудования»).

Диссертация Созыкиной А.С. является самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой решена научная задача, имеющая важное прикладное значение, написана на достаточно высоком научном уровне, изложена в хорошем стиле, представляет полезный новый вклад в области металлостроения.


Анализ диссертации, автореферата и опубликованных работ соискателя позволяет сделать следующее **заключение**: диссертационное исследование «Моделирование превращений при аустенитизации и закалке и прогнозирование твердости высокохромистых сталей и чугунов на основе термодинамических и кинетических расчетов» является завершённой научной работой, соответствующей требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, а её автор Созыкина Анна Сергеевна заслуживает присвоения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Диссертационная работа, автореферат и отзыв обсуждены и одобрены на научном семинаре Отдела физических проблем машиностроения ИМАШ УрО РАН (лаборатории: конструкционного материаловедения, деформирования и разрушения, микромеханики материалов, технической диагностики), протокол №210 от 29 ноября 2018г.

Председатель научного семинара,
руководитель Отдела физических проблем машиностроения,
главный научный сотрудник
лаборатории технической диагностики,
доктор технических наук, академик РАН  Горкунов Эдуард Степанович
Тел.: (343) 374-47-25
E-mail: ges@imach.uran.ru

Заведующий лабораторией
Системного моделирования
доктор технических наук
Тел.: (343) 374-25-94
E-mail: shveikin60@mail.ru 

Швейкин Владимир Павлович

Секретарь семинара,
научный сотрудник
лаборатории микромеханики материалов,
кандидат технических наук  Мясникова Марина Валерьевна
Тел.: (343) 362-30-27
E-mail: marina@imach.uran.ru

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

«29» ноября 2018 г.