

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию «Моделирование превращений при аустенитизации и закалке и прогнозирование твердости высокохромистых сталей и чугунов на основе термодинамических и кинетических расчетов», представленную Созыкиной Анной Сергеевной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – "Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов"

### **1. Актуальность темы диссертационной работы**

В качестве сплавов для быстроизнашивающихся деталей, работающих в сложных условиях абразивного изнашивания, широко используются высокоуглеродистые высокохромистые легированные сплавы железа. По особенностям своей структуры и свойствам (твердость, износостойкость, вязкость, прочностные свойства) высокоуглеродистые сплавы применяются в промышленности и как конструкционные, так и инструментальные материалы. Высокую износостойкость этим материалам обеспечивают специальные карбиды легирующих элементов.

Изделия из высокохромистых сталей и чугунов получают высокую твердость и износостойкость только после правильно проведенной термической обработки, которая состоит из закалки и отпуска от определенных температур. Но температурно-временные режимы, обеспечивающие необходимую структуру, твердость или износостойкость, могут значительно изменяться даже при небольших колебаниях химического состава, и заранее прогнозировать режимы термической обработки всегда было затруднительно, и поэтому существовала необходимость подбирать эти режимы для каждой плавки опытным путем.

Поэтому разработка теоретически обоснованной методики прогнозирования фазового состава и твердости закаленных сплавов Fe–Cr–C с высоким содержанием хрома и углерода является актуальной задачей.

### **2. Структура, объем, форма изложения диссертации**

Диссертация состоит из введения, 4 глав, общих выводов по работе, списка литературы из 148 наименований. Работа изложена на 153 страницах машинописного текста, содержит 69 рисунков, 18 таблиц и 2 приложения, в которых представлены акты о внедрении результатов работы в учебный процесс, и о положительных результатах производственных испытаний сплавов, разработанных диссертантом. Представлен также автореферат объемом 1,39 печ. л.

Диссертация написана четким грамотным языком, иллюстрации хорошо дополняют и поясняют текст. Замечаний по оформлению нет. По теме диссертации опубликовано 23 работы, из них 2 – в журналах, входящих в базу данных «Scopus», 9 - в журналах, входящих в перечень ВАК. В публикациях автора достаточно полно освещены основные результаты теоретических и экспериментальных исследований.

Выступления автора с докладами на двенадцати Всероссийских и Международных научно-технических конференциях в различных городах России свидетельствуют о том, что ее работы достаточно широко известны научной общественности.

### **3 Краткое содержание работы**

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы; сформулированы цель и задачи исследования; перечислены основные положения, выносимые на защи-

ту; сформулирована научная новизна полученных результатов и приведена практическая значимость работы.

**Первая глава** диссертации носит обзорный характер, в ней на основе публикаций отечественных и зарубежных авторов проведен анализ состояния вопроса по промышленным высокоуглеродистым инструментальным сталям и износостойким белым чугунам системы Fe–Cr–C. Рассмотрено влияние химического состава сплавов, влияние легирования и термической обработки на структуру и свойства сплавов различного назначения.

Сделан вывод, что при существующем разнообразии сплавов выбор состава сплава и режимов термической обработки для получения необходимых в каждом конкретном случае свойств производится, как правило, при помощи длительных экспериментальных исследований.

Сформулирована цель работы: разработка теоретически обоснованной методики прогнозирования структуры и твердости сплавов системы Fe–Cr–C на основе термодинамики и кинетической теории фазовых превращений.

**Во второй главе** разработана методика расчета фазового состава и твердости закаленных сплавов системы Fe–Cr–C. По этой методике проведен анализ термодинамического равновесия системы при аустенитизации, сопоставлены существующие и собственные формулы для расчета положения мартенситной точки, рассмотрены твердости фазовых составляющих после закалки и проведен анализ зависимости общей твердости сплава от микротвердостей отдельных фаз. Получено выражение для расчета положения мартенситной точки сплавов в зависимости от химического состава  $\gamma$ -фазы, которое может применяться для сплавов с высоким содержанием хрома и углерода. Разработана методика расчета общей твердости сплавов системы Fe–Cr–C после закалки в зависимости от температуры нагрева с учетом количественных закономерностей мартенситного превращения и индивидуальных твердостей фаз.

**В третьей главе** приведены составы исследованных сплавов, описаны методики металлографических и микрорентгеноспектральных исследований и приведены результаты собственных экспериментальных исследований структуры и свойств ряда сплавов. Проведена проверка точности разработанной методики прогнозирования с помощью собственных и литературных данных. Представлены примеры практического применения созданной методики прогнозирования структуры и твердости сплавов системы Fe–Cr–C. Выбраны составы сплавов для замены чугуна 300X28H2 для песковых насосов.

Результаты расчета количества остаточного аустенита и твердости совпали с литературными и экспериментальными данными для сплавов с различным содержанием хрома и углерода, что свидетельствует об адекватности предлагаемой методики расчета.

**В четвертой главе** проведено уточнение разработанной методики путем учета кинетики растворения карбидов при нагреве сплавов и рассмотрения ближнего упорядочения атомов в аустените и его влияния на мартенситное превращение. Представлен пример практического применения расчета для подбора термической обработки износостойкого чугуна.

#### **4 Оценка степени научной новизны результатов диссертации**

- разработана теоретически обоснованная методика расчета фазового состава и твердости сплавов системы Fe–Cr–C в закаленном состоянии, способная предсказывать соотношения структурных составляющих (мартенсита, остаточного аустенита и карбидов) в зави-



- симости 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.
  - получена эмпирическая зависимость положения мартенситной точки от химического состава аустенита, применимая для высоких значений содержания углерода и хрома.
  - экспериментально определен коэффициент распределения марганца между аустенитом и карбидами.
  - построена уточнённая кинетическая модель ближнего упорядочения атомов внедрения и замещения и изучено влияние этого упорядочения на мартенситную точку в исследуемых Fe–Cr–C сплавах.

#### **5. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций, заключений и выводов**

При выполнении диссертационной работы соискатель использовала при моделировании превращений надежные современные термодинамические параметры и классические подходы кинетической теории фазовых превращений, уточненные применительно к изученной системе Fe–Cr–C на основе экспериментальных данных, полученных как при анализе литературных данных, так и собственных исследований.

Для проведения экспериментальных исследований структуры и свойств сплавов использован большой комплекс современных методик, приборов, оборудования: оптический металлографический микроскоп Olympus GX51, растровый электронный микроскоп с приставкой для микрорентгеноспектрального анализа JEOL JSM-6460LV, рентгеновский дифрактометр ДРОН-4, твердомер Роквелла TR-5014.

При разработке модели Созыкина А.С. принята разумное допущение о том, что все сильные карбидообразующие элементы находятся в карбидных фазах, а не карбидообразующие (Ni) – в твердом растворе. Для слабого карбидообразующего элемента, каким является марганец, диссертант провела оценку его распределения между карбидами и твердым раствором.

Сравнение результатов расчета по модели, разработанной Созыкиной А.С. с литературными и экспериментальными данными показали, что они достаточно хорошо согласуются между собой.

Все выше отмеченное, позволяет сделать вывод о научной новизне и достоверности основных результатов и выводов диссертационной работы.

Применяемые в работе стандартные и оригинальные методики, приборы и оборудование, а также экспериментальный материал и промышленные испытания предложенного автором сплава подтверждают надежность и обоснованность результатов диссертационной работы.

#### **6. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям и паспорту специальности**

Диссертация соискателя характеризуется внутренним единством и направленностью, подчинена общей цели, объединена научной идеей. Полученные результаты соответствуют научным положениям диссертации. Положения и результаты диссертации обладают научной новизной и практической значимостью. Все результаты, полученные в диссертации, относятся к кругу ранее нерешенных вопросов в исследовании проблемы научно обосно-

ванного моделирования фазовых превращений при нагреве и охлаждении и прогнозирования механических свойств высокохромистых чугунов на основе термодинамических и кинетических расчетов. Публикации имеют высокий уровень и полностью отражают основное содержание диссертации. Диссертация соответствует паспорту специальности: - 05.16.01 Металловедение термическая обработка металлов и сплавов, пункты 1, 2, 3.

#### **7. Практическая значимость и использование результатов**

Анализ содержания и результатов диссертационной работы показал ее высокую практическую значимость, которая заключается в том, что разработанная Созыкиной А.С. методика моделирования превращений при термической обработке высокоуглеродистых и высокохромистых сплавов железа может быть использована для расчётного прогнозирования химических составов Fe-Cr-C сплавов с заданными требованиями к структурному составу и твёрдости. Использование этой методики, предложенной автором работы, позволяет значительно сократить затраты на экспериментальные исследования, а также выбор оптимальных температурно-временных параметров термической обработки высокохромистых сталей и сплавов.

#### **8. Замечания по диссертационной работе**

1. Для формул, по которым проводится определение положения мартенситной точки, рассчитывается твердость мартенсита, карбидов и др. не приведены пределы их применимости.

2. Для сплавов системы Fe-Cr-C твердость имеет важное значение, но главное достоинство этих сплавов – износостойкость, А, к сожалению, в работе износостойкость этих сплавов не исследовалась.

3. Разработанные сплавы с меньшим содержанием никеля показали, что они могут быть использованы для деталей песковых насосов, но каков состав пульпы, которую перекачивают эти насосы? Каков характер износа деталей?

4. В общих выводах (стр. 135) и на стр. 53 (гл. 3) говорится о растворении при нагреве эвтектических и заэвтектических карбидов (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>. Но раствориться эти карбиды – эвтектические и заэвтектические, могут только при плавлении или подплавлении.

5. В разработанной модели не учтены такие параметры литой структуры как размеры карбидов и характер распределения карбидной фазы.

#### **Заключение**

Отмеченные отдельные замечания не изменяют общей положительной оценки диссертационной работы и не снижают ее научной и практической ценности, а лишь подчеркивают сложность решаемых в работе задач.

Диссертационная работа А.С. Созыкиной является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение важной научной задачи – разработки методов прогнозирования структуры и свойств высокохромистых сталей и чугунов, позволяющих сократить затраты на экспериментальные исследования. Промышленные испытания показали, что полученные Созыкиной А.С. результаты позволяют прогнозировать химические составы высокохромистых сплавов с заданными свойствами, значительно сократить затраты на экспериментальные исследования, а также ускорить выбор оптимальных термо-временных параметров для термической обработки изделий.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертационной работы.



Диссертационная работа А.С. Созыкиной представляет собой законченную научно-квалифицированную работу, полностью соответствующую требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», ее автор, Созыкина Анна Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01-«Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Технологии металлургии и литейных процессов»  
ФГБОУ ВО «Магнитогорский  
государственный технический  
университет им. Г.И. Носова»  
28.11.2018г.

Емелюшин А.Н.

Специальность, по которой защищена диссертация: 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Адрес почтовый и электронный: 455000, г. Магнитогорск, Челябинской обл., пр. Ленина, 38.  
[emelushin@magtu.ru](mailto:emelushin@magtu.ru)

