

## Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Юрченко Александра Николаевича «Фазовые превращения, структура и механические свойства конструкционных сталей системы легирования X2Г2С2МФ с разным содержанием углерода», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Диссертационная работа Юрченко А.Н. посвящена установлению взаимосвязи структуры и механических свойств экономнолегированных сталей системы X2Г2С2МФ, разработанных в ФГАОУ ВО ПНИГУ. Повышенные требования к механическим и эксплуатационным свойствам конструкционных сталей в условиях импортозамещения являются стимулом как для разработок новых марок сталей, так и для детального изучения фазовых и структурных превращений, с целью установления оптимальных режимов термообработки. Решающее влияние на уровень механических характеристик оказывает структурное состояние стали. Значительный эффект в прочностные характеристики вносят такие структурные составляющие, как бейнит и мартенсит.

Поэтому диссертационная работа Юрченко А. Н., направленная на изучение закономерностей  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращений, структурообразования при различных режимах термообработки, а также влияния структуры на механические свойства сталей системы легирования X2Г2С2МФ, является актуальной.

### **Структура и объем диссертации.**

Работа состоит из введения, пяти глав, общего обсуждения, общих выводов и приложения. Список цитируемой литературы включает 140 источников. Диссертация изложена на 129 страницах, содержит 42 рисунка и 11 таблиц.

**Во введении** обоснована актуальность выбранной темы, научная новизна, степень достоверности результатов, теоретическая и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, а также апробация работы и личный вклад автора.

**В первой главе** представлен химический состав исследуемых сталей, рассмотрены фазовые превращения и структура высокопрочных

экономнолегированных сталей, их термическая обработка и свойства. Сформулированы цели и задачи исследования.

**Во второй главе** рассмотрены методики исследования (13) материалов и их обработки.

**Третья глава** посвящена исследованию фазовых превращений, структуры, твердости сталей 22Х2Г2С2МФ и 44Х2Г2С2МФ. Построены термокинетические изотермические диаграммы распада переохлажденного аустенита. Установлены зависимости образования структурных составляющих от скорости охлаждения и температуры изотермической выдержки.

**В четвертой главе** описан способ выявления и количественной оценки доли бейнита в исследованных сталях с использованием поляризованного света в световом оптическом микроскопе. Данный способ позволил увеличить точность определения доли бейнита в структуре стали

**В пятой главе** представлены результаты эксперимента по влиянию термической обработки на структуру и механические свойства сталей 22Х2Г2С2МФ и 44Х2Г2С2МФ. Установлено, что различные доли мартенсита, бейнита и остаточного аустенита после изотермической обработки могут приводить к различному уровню механических характеристик.

В конце каждой главы сделаны выводы.

### **Научная новизна проведенных исследований**

В качестве наиболее важных результатов диссертационной работы можно отметить следующее:

- Установлено, что бейнитное превращение в исследуемых сталях не может протекать отдельно от мартенситного при скорости охлаждения выше 0,3 °С/с.

- Выявлено влияние различных параметров изотермической выдержки в печах с окислительной атмосферой на механические характеристики исследованных сталей.

- Впервые для данного типа сталей применение поляризованного света позволило разделить игольчатый бейнит и мартенсит, а также оценить их количественные доли.

### **Практическая значимость**

Практическая значимость работы Юрченко А. Н. подтверждена наличием двух патентов РФ №2734848 от 23.10.2020 и №2769111 от 28.03.2022. Экспериментальные результаты работы Юрченко А. Н. позволили

рекомендовать научно обоснованные режимы термической обработки сталей типа Х2Г2С2МФ с различным содержанием углерода, с целью получения оптимальных механических и эксплуатационных характеристик на ЗАО «СКБ» г. Пермь.

**Достоверность и обоснованность результатов работы** подтверждается широкой линейкой современных методов исследования, в том числе SIAMS 700, рентгеноструктурным и фрактографическим анализом, а также большим объемом проведенных экспериментов. Полученные результаты исследования в диссертационной работе не противоречат имеющимся литературным данным и результатам других авторов.

Основные задачи, определяемые целью работы, автором диссертации успешно решены. Тем не менее, по работе можно сделать следующие замечания.

1. В Главе 3, таблица 3.4. приведены доли остаточного аустенита при различных температурах изотермической выдержки стали 44Х2Г2С2МФ. В Главе 5 также приведена таблица 5.1 для этой же стали при аналогичных температурах изотермической выдержки, однако в таблице 3.4. количество остаточного аустенита увеличивается при понижении температуры изотермической выдержки, а в таблице 5.1. понижается. С чем связано такое расхождение данных приведенных в этих таблицах.

Табл. 3.4

325°С – 9%

300°С – 14%

275°С – 21%

250°С – 24%

Табл. 5.1

325°С – 27%

300°С – 26%

275°С – 19%

250°С – 20%

2. В Главе 3, на рисунках 3.14б и 3.20б приведены электронограммы, полученные с бейнитной структуры исследуемых сталей. На дифракционной картине присутствуют и идентифицированы рефлексы  $\alpha$ -фазы принадлежащие только одной ориентировке, в то же время на изображении структуры видно присутствие кристаллов бейнита нескольких ориентировок. Кроме того, при данной температуре изотермической выдержки в стали содержится 9% остаточного аустенита, однако рефлексов  $\gamma$ -фазы на электронограмме не обнаружено. Не проведен также темнопольный анализ

структуры бейнита, на котором было бы видно расположение и форма кристаллов  $\alpha$ -фазы.

3. При анализе диаграмм термокинетического превращения аустенита в исследуемых сталях было отмечено, что образование бейнита наблюдается после прохождения мартенситного превращения. Подобные диаграммы превращения были приведены в работах других авторов (Ока М., Okamoto Н. // Metallurgical Transactions A, 1988, vol. 19A, no. 3, pp. 447–452.) (Юдин Ю.В., Гервасьев М.А., Беликов С.В. // ФММ, 1999, т. 88, № 2, с. 108–110.) (Kim D.H., Speer J.G., Kim H.S., De Cooman B.C. // Metallurgical and Materials Transactions A, 2009, vol. 40A, no. 9, pp. 2048–2060.). Из текста диссертации неясен механизм и причины протекания бейнитного превращения ниже мартенситного.

4. В Главе 4 автором описан способ выявления бейнита с использованием поляризованного света и цветного травления. Однако в этой главе не показана схема и принцип работы анализатора, как, например, приведены в работе А. Г. Анисовича, что затрудняет восприятие текста диссертации.

5. В главе 3 рисунок 3.7 приведена структура стали 22Х2Г2С2МФ на которой выявлены разные структурные составляющие. Неясно каким способом они были определены, т.к. на рисунке они плохо различаются, в том числе и М/А- составляющая, которую можно однозначно определить только проведя темнопольный и дифракционный анализы.

6. В выводах главы 5 указано, что увеличение доли остаточного аустенита должно повышать ударную вязкость. В работах А. Ю. Калетина с соавторами (ФММ, 2018, т.119, №, с.946-952, МиТОМ, 2023, №11, с10-15) показана роль остаточного аустенита и его влияние на ударную вязкость конструкционной стали. В списке литературы диссертационной работы ссылки на указанные источники отсутствуют.

7. К сожалению, в тексте диссертационной работы встречаются опечатки:

- стр. 41 указан рис. 2.3 б, а нужно 2.4 б;

- стр. 57 указан рис. 3.11, а нужно указать 3.10;

- в подрисуночной подписи к рис. 3.11 указана сталь 22Х2Г2С2МФ, а в тексте сталь 44Х2Г2С2МФ.

Указанные замечания не снижают научной ценности работы и не влияют на общее положительное мнение о диссертации.

## Заключение

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные закономерности формирования структуры сталей системы легирования X2Г2С2МФ с различным содержанием углерода и установлена взаимосвязь между структурой и механическими свойствами. Результаты работы Юрченко А.Н. могут быть использованы в машиностроении при производстве автомобильных сталей.

Автореферат соответствует содержанию диссертации. Диссертационная работа Юрченко А. Н. соответствует паспорту научной специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а также требованиям Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденного приказом ректора ПНИПУ №4334В от 9 декабря 2021 г., а ее автор, Юрченко Александр Николаевич, заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент  
Доктор технических наук,  
старший научный сотрудник  
Главный научный сотрудник  
Лаб. Физического металловедения  
ФГБУН Института физики металлов  
имени М. Н. Михеева УрО РАН

Ирина Леонидовна Яковлева

E-mail: labmet@imp.uran.ru

620108, г. Екатеринбург, Ул. С. Ковалевской, 18

Научная специальность 2.6.1 - Металловедение и термическая  
обработка металлов и сплавов

27.02.2024

 И. Л. Яковлевой И. Л. заверено.

