

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Нижегородский государственный  
технический университет им. Р.Е. Алексеева»  
(НГТУ)

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе  
Доктор физико-математических наук  
Профессор

А.А. Куркин

2022 г.

ПРОРЕКТОР ПО НАУЧНОЙ РАБОТЕ

Минина ул., 24, г. Нижний Новгород, 603950  
Тел. / факс (831) 436-23-37  
E-mail: aakurkin@nntu.ruwww.nntu.ru

ОКПО 02068137 ОГРН 1025203034537  
ИНН / КПП 5260001439 / 526001001

А.А. Куркин № 03-04/2022  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу **Барсуковой Татьяны Юрьевны**  
**«Повышение надежности стали 10Х3ГЗМФС холодной радиальной  
ковкой и неполной закалкой»**, представленную на соискание  
ученой степени кандидата технических наук по специальности  
2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

#### Актуальность темы исследования

Использование промышленного метода холодной радиальной ковки и последующей термической обработки на предприятиях машиностроительного комплекса позволяет решать актуальную задачу повышения конкурентоспособности изделий из экономнолегированных сталей за счет разработки новых режимов обработки материала, направленных на получение оптимального для конкретных условий эксплуатации, сочетания характеристик конструкционной прочности сталей и расширение области применения сталей.

Внедрение низкоуглеродистых сталей мартенситного класса повышает технологичность производства изделий, однако существуют ограничения по их дальнейшей обработке, направленной на формирование окончательных свойств материала. Это связано с низкой деформируемостью мартенситной структуры при использовании обычных способов холодной пластической деформации и ее устойчивости к нагреву. В таких сталях реализуемый фазовый переход как в двухфазной, так и однофазной температурных областях не обеспечивает формирования нового комплекса мелких зерен аустенита по причине проявления эффекта структурной наследственности. Ввиду термической устойчивости мартенситной структуры стали ограничен интервал разрешенных температур отпуска, которые должны исключать отпускную хрупкость.

В последнее время существует интерес к использованию неполной закалки на сталях разных структурных классов, и была показана возможность повышения ресурса данных материалов в исходном мартенситном состоянии за счет диспергирования структуры, которое приводит к повышению характеристик надежности без существенного снижения прочностных свойств легированных сталей.

Применение комплексной деформационно-термической обработки для повышения характеристик надежности сталей с мартенситной структурой предполагает установление взаимосвязи между параметрами термической обработки, получаемой структурой и механическими свойствами. Решение такой задачи должно сопровождаться изучением фазовых и структурных превращений под воздействием деформации и температуры, что было сделано при выполнении данной диссертационной работы.

В результате проведенных исследований были разработаны и опробованы режимы деформационно-термической обработки стали 10ХЗГЗМФС, позволившие повысить надежность данного материала при небольшом снижении характеристик прочности, что для заданных условий работы представляется оптимальным вариантом.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

В диссертационной работе автором проведен анализ литературных источников, раскрыты закономерности структурообразования и возможности повышения характеристик надежности низкоуглеродистой стали с мартенситной структурой. Это позволило провести исследование в контексте общепринятых представлений об эволюции структуры при образовании аустенита в условиях непрерывного нагрева и изотермических выдержек, а также эволюции мартенситной структуры при холодной пластической деформации. Кроме того, учтены закономерности формирования свойств низкоуглеродистых сталей при термическом и деформационном воздействиях. Использование современных взаимодополняющих методов исследования, стандартизированных методик выполнения анализа данных и общность полученных результатов позволило автору достичь цели исследования и обосновать научные положения и выводы в диссертации, которые не противоречат данным работ других авторов.

### **Научная новизна работы**

Полученные диссертантом новые результаты обладают научной новизной.

Установлены закономерности влияния исходного состояния стали на морфологию формирующегося при нагреве и выдержке в двухфазной области аустенита. Показано изменение морфологии мартенситных областей в двухфазной мартенситно-ферритной структуре после неполных закалок.

Впервые показано поведение экономнолегированной мартенситной стали в мартенситно-ферритном состоянии при холодной пластической деформации, показано протекание процесса фрагментации и фазового превращения остаточного аустенита.

Установлено влияние промежуточной холодной деформации на формирование структуры стали при последующей неполной закалке, которое заключается в протекании рекристаллизации матричных зерен альфа-фазы, что в сочетании с высокой скоростью альфа-гамма превращения после охлаждения приводит к формированию дисперсной

мартенситно-ферритной структуры с более высокими характеристиками надежности при небольшом снижении прочности.

#### **Значимость результатов для науки**

Представленные в диссертационной работе результаты имеют научное обоснование закономерностей формирования структуры при деформационно-термической обработке стали 10ХЗГЗМФС, позволяющих обеспечивать заданные сочетания характеристик прочности и надежности стали, а также возможность их варьирования путем изменения параметров режимов термической обработки, что позволяет расширить возможность применения данной марки материала. Важным также представляется установленная взаимосвязь изменения зеренной структуры стали и удельной работы распространения трещины КСТ при неполной закалке.

#### **Практическая значимость работы**

Результаты, представленные в диссертационной работе, имеют значение для практики применения комплексной деформационно-термической обработки низкоуглеродистых сталей с мартенситной структурой. Построенные изотермические диаграммы образования аустенита позволяют прогнозировать фазовый состав и формировать нужный комплекс механических свойств. Разработанные режимы деформационно-термической обработки опробованы в промышленных условиях, что подтверждается актом внедрения.

#### **Оценка содержания диссертации и автореферата**

Диссертация в достаточном объеме раскрывает поставленную научную проблему, обладает внутренним единством, а ее содержание по степени научной новизны и практической значимости отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Основные научные результаты работы опубликованы в четырех рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ, три из которых в переводной версии журналов входят в международные базы цитирования Scopus, Springer, WoS.

Автореферат диссертации в краткой форме отражает основные идеи и выводы диссертации, изложен грамотно, результаты представлены в логической последовательности.

#### **Соответствие диссертационной работы паспорту специальности**

Представленная диссертационная работа по своему содержанию, цели и задачам соответствует области исследований, изложенной в формуле специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, пунктам 2, 3, 4, 6. Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях, включая технологические воздействия и влияние сварочного цикла на металл зоны термического влияния, их моделирование и прогнозирование; теоретические и экспериментальные исследования влияния разнородных структур, в том числе кооперативного, на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов, их моделирование и прогнозирование; теоретические и экспериментальные исследования термических, термоупругих, термопластических, термохимических, термомагнитных, радиационных, акустических и других воздействий на изменение структуры и свойств металлов и сплавов, их моделирование и прогнозирование;

разработка новых и совершенствование существующих технологических процессов объемной и поверхностной термической, химико-термической, термомеханической и других видов обработок, связанных с термическим или термомеханическим воздействием, цифровизация и автоматизация процессов, а также разработка информационных технологий систем сквозного управления технологическим циклом, специализированного оборудования.

### Замечания

1. В работе использована одна марка материала 10Х3ГЗМФС. Чем обоснован её выбор и выбор исходного состояния?
  2. Неполная закалка низкоуглеродистых сталей достаточно изучена. Почему для вашей марки стали в качестве окончательной термической обработки использовали именно неполную закалку и чем определялся выбор температуры окончательной обработки?
  3. Существует огромное количество способов деформационной обработки, но почему в работе использовали один единственный, причем достаточно хорошо исследованный, способ холодной радиальной ковки? И какая температура возникает в очаге деформации при холодной радиальной ковке?
  4. На странице 99 приведено распределение твердости по сечению прутка. С чем связано неравномерное упрочнение прутка? Какие недостатки или преимущества дает неравномерное распределение твердости по сечению деформированного прутка?
  5. На рис. 3.2 стр. 61 приведена «Гистограмма распределения размеров зерна стали» в различных состояниях с разбивкой размеров зерен на группы в мкм. Имеется ввиду «величина зерна аустенита»? Но тогда в главе 2 не указана методика его определения (например, ГОСТ5639 «Сталь. Методы определения величины зерна аустенита»). Или же имеются в виду другие понятия, например, балл иглы мартенсита? Но тогда, это неравнозначно определению «зерна». Напрашивается разъяснение этого вопроса.
  6. На рис. 3.8 стр. 70 приведены дилатометрические кривые и указано абсолютное удлинение в мкм, но не сказано о размерах образцов, чтобы можно было оценить, насколько велики или малы эти изменения.
  7. Хотелось бы уточнить, чем определялся выбор степеней деформации при ковке (20, 40, 60%)? Это какие-то критические значения при ковке данной марки стали; выбраны на основе литературных данных (как степени, при которых начинаются определенные структурные изменения); наиболее часто используются на производстве; или выбраны произвольно?
  8. Требуется уточнить, почему при выборе испытаний на ударный изгиб выбрали КСТ, а не КСВ или КСУ: просто больший концентратор напряжения или это связано с требованиями к перечню механических свойств для изделий из данной марки стали.
- Сделанные замечания не ставят под сомнение основные выводы диссертации не меняют общую положительную оценку данной работы.

## Заключение

Диссертация Барсуковой Татьяны Юрьевны «Повышение надежности стали 10Х3Г3МФС холодной радиальной ковкой и неполной закалкой» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, содержит новые научно обоснованные данные об эволюции структуры и свойств стали 10Х3Г3МФС при деформационно-термической обработке, что позволило разработать новый промышленный режим комплексной обработки материала, обеспечивающий повышение характеристик удельной работы распространения трещины и относительного удлинения материала при небольшом снижении его прочностных свойств. Полученные результаты могут быть использованы при разработке режимов деформационно-термической обработки сталей мартенситного класса.

Представленная работа по форме и содержанию соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Барсукова Татьяна Юрьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Результаты диссертационной работы и отзыв на нее обсуждены на заседании кафедры «Материаловедение, технологии материалов и термическая обработка металлов», протокол № 7 от 20 октября 2022 г.

Отзыв составлен:

К.т.н. (05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов), доцент кафедры МТМиТОМ, ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»



Воробьев Роман Александрович

К.т.н. (05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов), доцент кафедры МТМиТОМ, ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»



Горшунов Максим Германович

Секретарь кафедры МТМиТОМ



Сибирякова Елена Всеволодовна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24.  
Тел./факс :7(831)436-23-37.  
E-mail: [mtnm@nntu.ru](mailto:mtnm@nntu.ru)

Подписи Воробьева Р.А., Горшунова М.Г., Сибиряковой Е.В. заверяю,

Директор Института физико-химических технологий и материаловедения НГТУ им. Р.Е. Алексеева



Ж.В. Мацулевич