

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Алексеева Даниила Юрьевича  
«Разработка технологии широкополосной горячей прокатки высокопрочной  
стали для гибких насосно-компрессорных труб»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением

### 1. Актуальность темы диссертации

Длинномерные гибкие насосно-компрессорные трубы (ГНКТ), намотанные на барабан, применяются при операциях по ремонту скважин, а также при их разработке и освоении.

Поскольку в настоящее время ограничен импорт металлопроката из недружественных стран, включая металлопрокат, необходимый для изготовления ГНКТ на Отечественных предприятиях, а предъявляемые к исходному материалу требования – достаточная прочность одновременно с высокой пластичностью (трубы должны выдерживать многократные циклы деформации при сматывания и наматывания на барабан, высокое внутреннее давление, а также растяжение под собственным весом) делают производство такого металлопроката достаточно сложной научно-технической задачей.

Поэтому вопрос разработки импортозамещающей технологии производства горячекатаного рулонного проката на широкополосных станах с получением требуемого для изготовления ГНКТ комплекса свойств является актуальным.

### 2. Основное содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, изложена на 133 страницах машинописного текста, включающего 32 рисунка, 15 таблиц, список использованных источников из 123 наименований отечественных и зарубежных авторов,

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»
за № _____
Дата регистрации <u>05.11.2024</u>
Фамилия регистратора _____

четырёх приложений на 20 страницах с результатами компьютерного моделирования распределения температурных полей по толщине заготовки и сведениями об опытно-промышленном опробовании основных результатов работы, а также внедрении их в учебный процесс ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» и условия промышленного производства ПАО «ММК».

**Во введении** автором обоснована актуальность и отражена степень проработанности темы исследования, определены объект, предмет, цель и задачи исследования, сформулированы научная новизна и практическая значимость работы, описаны методы проведения исследований, обозначены положения выносимые на защиту, доказывається достоверность результатов исследований, представлена структура диссертации.

**В первой главе** на основании анализа литературных источников представлено современное состояние вопроса производства стали для ГНКТ, определены технологические особенности термомеханической обработки (ТМО) и метод расчета температурного состояния металла в условиях производства на широкополосных стана горячей прокатки (ШСГП) – компьютерное конечно-элементное моделирование в программном комплексе DEFORM-3D. Сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

**Во второй главе** представлены результаты исследования высокопрочной низколегированной стали группы прочности СТ80 с использованием комплекса GLEEBLE 3500 и компьютерного моделирования теплового состояния металла в процессе прокатки в чистовой группе клетей и охлаждении на отводящем рольганге ШСГП 2000 ПАО «ММК» с учетом формируемого в процессе пластической деформации градиента температур по толщине полосы из-за потерь тепла за счет излучения, конвективного теплообмена на воздухе и с водой, контакта с рабочими валками, а также деформационного разогрева полосы.

Получено регрессионное уравнение сопротивления стали пластической деформации и кривые изменения теплового профиля по толщине полосы (на примере прокатки полосы толщиной 4,4 мм).



Интерес представляет, что в процессе деформации с одной стороны происходит увеличение температуры центральных слоев металла, с другой – интенсивное охлаждение поверхности между клетями (градиент температур между охлажденной поверхностью и центром заготовки достигает  $890^{\circ}\text{C}$ , при этом определено, что глубина охлажденного слоя не превышает  $0,12\text{ мм}$ ).

После выхода полосы из последней клетки температура по сечению выравнивается и не превышает  $7^{\circ}\text{C}$ . Однако использование установки ускоренного охлаждения (УУО) вновь приводит к увеличению разности температур между поверхностью и центром полосы. Установлено, что передмоткой разность температур составляет при толщине полосы  $4,4\text{ мм}$  –  $20-45^{\circ}\text{C}$ .

Обобщение результатов конечно-элементного моделирования позволило автору предложить алгоритм определения рациональной технологической схемы чистовой прокатки и ускоренного охлаждения с целью минимизации градиента температур по толщине металла.

**В третьей главе** представлены результаты всестороннего физического моделирования влияния температурных режимов ТМО на механические свойства и микроструктуру стали исследуемой химической композиции.

Определены критические точки фазовых превращений для высокопрочной низколегированной стали группы прочности СТ80

По результатам физического моделирования и оценки микроструктуры исследуемых образцов определены температурные режимы контролируемой прокатки ( $870-910^{\circ}\text{C}$ ) и ускоренного охлаждения ( $520-550^{\circ}\text{C}$ ), обеспечивающие получение механических свойств проката в соответствии с требованиями стандарта API-5ST для группы прочности СТ80.

**В четвертой главе** представлены результаты опытно-промышленного опробования предложенной автором технологической схемы производства рулонного проката стали группы прочности СТ80 размерами  $4,4\times 1180\text{ мм}$  в условиях ШСГП 2000 ПАО «ММК», согласно которым требуемые по API-5ST механические свойства – достигнуты.

Также подтверждена сходимость расчетных и фактических показателей процесса прокатки для выбранных температурных режимов.

### **3. Научная новизна результатов исследований**

Научная новизна работы состоит в том, что соискателем для стали группы прочности СТ80 впервые получено регрессионное уравнение зависимости сопротивления деформации от скорости и степени деформации для условий горячей прокатки и разработана методика расчета коэффициента теплоотдачи для системы взаимодействия поверхность-воздух/вода.

Также получены новые научные знания о закономерности влияния режимов контролируемой прокатки и ускоренного охлаждения на микроструктуру и механические свойства высокопрочной горячекатаной низколегированной стали, в частности установлено, что тип основной структурной составляющей и пластические свойства стали определяются температурой окончания чистовой стадии прокатки в соотношении с температурой начала аустенитного превращения, а наилучшее сочетание прочностных и пластических свойств достигается при формировании феррито-бейнитной структуры путем термомеханической обработки стали с завершением деформации при температуре 890°C с последующим ускоренным охлаждением до 520-550°C.

### **4. Достоверность полученных результатов**

Достоверность полученных результатов компьютерного и физического моделирования определяется использованием широко применяемых и хорошо себя зарекомендовавших программных и экспериментальных комплексов DEFORM-3D и GLEEBLE 3500. При этом результаты теоретических исследований согласуются с данными промышленных экспериментов при производстве опытных партий рулонного проката в условиях ШСГП 2000 ПАО «ММК».



Представленные материалы соответствуют паспорту заявленной специальности, основные положения работы доложены и обсуждены на научно-технических конференциях различного уровня. Результаты исследования широко опубликованы в научных изданиях, в том числе рекомендованных ВАК РФ и входящих в базы данных Web of Science и Scopus.

Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание.

### **5. Практическая ценность результатов работы**

Практическая значимость работы заключается в разработке технологического процесса производства рулонного проката, включающего алгоритм корректировки параметров чистовой прокатки и ускоренное охлаждение для минимизации неоднородности структуры с получением требуемого комплекса механических свойств для группы прочности СТ80, который может быть применен в условиях стана 2000 ПАО «ММК».

### **6. Замечания**

1. В работе в явном виде не представлен пример практического применения предложенного автором алгоритма определения рациональной технологической схемы чистовой прокатки на ШСГП и ускоренного охлаждения с целью минимизации градиента температур по толщине металла (представленный на рисунке 2.12).

2. Как при расчете изменения температурного поля заготовки в процессе чистовой стадии прокатки учитывался деформационный разогрев материала?

3. Отсутствует информация о марке (или химическом составе) стали, которая использовалась для проведения опытно-промышленной прокатки на ШСГП 2000. Везде указана только группа прочности. Соответствует ли химический состав данной стали исследуемому в Главе 3?

4. Не понятно, как должен обеспечиваться и обеспечивался во время опытно-промышленной прокатки одинаковый диапазон рекомендуемых температур в конце черновой стадии прокатки –  $1030\pm 20^{\circ}\text{C}$  (согласно рисунку 4.1) и на входе в чистовую группу клетей (согласно рисунку 4.3) с учетом потери температуры на промежуточном рольганге.

5. В работе отсутствует информация об опыте производства конечной продукции в виде гибких насосно-компрессорных труб из металлопроката, полученного по новой, предложенной автором технологии.

## 7. Заключение

Диссертационная работа Д.Ю. Алексеева является законченной научно-квалификационной работой, решающей важную задачу по импортозамещению металлопроката из высокопрочной стали со свойствами, необходимыми для производства длинномерных гибких насосно-компрессорных труб за счет разработки и реализации новой технологии производства горячекатаного рулонного проката на широкополосных станах. Содержит новые научно обоснованные технические и технологические решения в области обработки металлов давлением, полученные на основе компьютерного и физического моделирования.

Достоверность выводов и рекомендаций не вызывает сомнений в связи с использованием автором современных методов математической обработки результатов теоретических исследований и сходимостью их с данными промышленных экспериментов.

Высказанные замечания носят частный характер и не снижают общей ценности работы.

На основании изложенного считаю, что работа, выполненная на тему «Разработка технологии широкополосной горячей прокатки высокопрочной стали для гибких насосно-компрессорных труб» отвечает критериям пп. 9, 10 и 11 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее

автор, Даниил Юрьевич Алексеев, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.4. Обработка металлов давлением.

Официальный оппонент:

кандидат технических наук (специальность

05.16.05 – Обработка металлов давлением),

начальник отдела бесшовных труб

ООО «Исследовательский Центр ТМК»



А.А. Корсаков

14.10.2024

Адрес: 454139, г. Челябинск, ул. Новороссийская, д. 30

Тел: +7 (351) 225-02-22, доб. 18858

e-mail: [Korsakov@rosniti.ru](mailto:Korsakov@rosniti.ru)

Подпись Корсакова Андрея Александровича заверяю:

Менеджер по персоналу

М.Э. Ляпина