



**МОСКОВСКИЙ  
ПОЛИТЕХ**

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский политехнический университет»  
(Московский Политех)

Б. Семеновская ул., д.38, Москва, 107023  
Тел.+7 495 223 05 23, Факс +7 499 785 62 24  
www.mospolytech.ru | E-mail: mospolytech@mospolytech.ru  
ОКПО 04350607, ОГРН 1167746817810,  
ИНН/КПП 7719455553/771901001

27.11.2023 № 09-30-20/5043-1

на \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе,  
к.т.н.

А.Ю. Наливайко

«27» ноября 2023 г.  
Печать организации

## ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» на диссертационную работу Масленникова Константина Борисовича на тему: «Совершенствование технологии и оборудования производства трубного проката класса прочности К60 на основе моделирования термомеханической обработки», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением

### Актуальность работы

Диссертационная работа Масленникова К.Б. посвящена разработке и реализации технических и технологических решений, направленных на обеспечение требуемого уровня физико-механических свойств горячекатаного листового проката из трубных марок стали, предназначенного для производства сварных труб большого диаметра для магистральных трубопроводов. Актуальность решаемой в диссертации задачи обусловлена тем, что в настоящее время к исследуемому прокату предъявляются комплексные требования, направленные на обеспечение стабильности получения необходимого уровня

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»	
за № _____	_____
Дата регистрации	<u>05.12.2023</u>
Фамилия регистратора	_____

физико-механических свойств трубной заготовки для повышения надёжности эксплуатации магистральных трубопроводов.

Отмечено, что на текущий момент достаточно подробно изучено формирование теплового и структурного состояния проката в процессе деформации. Однако вопрос деформационного разогрева металла при чистовой прокатке требует более детальной проработки. Поэтому исследования, проводимые Масленниковым К.Б., направленные на прогноз прочностных и пластических характеристик материала на основе данных мониторинга и контроля технологического процесса, являются весьма актуальными.

### **Структура и объем диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем работы составляет 158 страниц машинописного текста, содержит 49 иллюстраций, 28 таблиц, 4 приложения, объём библиографического списка составляет 136 наименований.

Во введении представлена актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна работы, практическая значимость, методология и методы исследования, представлены основные положения, выносимые на защиту, достоверность и обоснованность результатов, апробация результатов работы.

В первой главе рассмотрено современное состояние производства толстолистового трубного проката.

Вторая глава посвящена разработке модели изменения теплового состояния проката на линии ТЛС горячей прокатки и проведению предварительных промышленных экспериментов. В ней проведен анализ влияния элементов конструкции ТЛС «5000» ПАО «ММК» на процессы теплоотдачи и настройка адаптационных параметров модели к условиям ТЛС «5000» ПАО «ММК», отражены результаты теплофизического моделирования теплового состояния металла на линии ТЛС, произведена оценка достоверности разработанной модели.

В третьей главе представлена математическая модель расчета значений физико-механических свойств трубного проката. Выполнена программная реализация математической модели.

В четвертой главе представлены результаты работы по внедрению программного комплекса в производственные процессы ПАО «ММК». Даны рекомендации по совершенствованию технологических режимов производства проката, системы КИП, технические рекомендации по совершенствованию оборудования.

### **Основные результаты диссертационной работы**

В работе четко поставлена цель: обеспечение требуемого уровня физико-механических свойств трубного проката класса прочности К60 путем разработки комплекса мероприятий по совершенствованию технологии и оборудования его производства с использованием теплофизического и математического моделирования. Для достижения поставленной цели автором определены следующие задачи:

1. Провести анализ влияния технологических процессов горячей прокатки и ускоренного охлаждения на тепловое и структурное состояния проката, определить граничные условия и длительность процессов теплообмена при каждой значимой технологической операции.

2. Определить критические температуры, зависимость теплоёмкости от температуры и величины теплового эффекта распада аустенита в целевой стали в условиях, соответствующих производственным, построить модели изменения теплового состояния проката на линии толстолистового стана (ТЛС) горячей прокатки.

3. Разработать математическую модель прогнозирования значений физико-механических свойств проката на основе расчетных данных о его тепловом состоянии при прохождении линии ТЛС;

4. Разработать программный комплекс, реализующий расчет теплового состояния и прогнозирования физико-механических свойств трубного проката;

5. Предоставить рекомендации по совершенствованию машин и технологии процесса КТМО трубного проката.

## **Основные результаты, полученные автором и определяющие научную новизну работы:**

1. Разработана научно-обоснованная методика расчёта распределения температуры по толщине горячекатаного трубного проката после реверсивной прокатки и ускоренного охлаждения, отличающаяся от известных учётом приращения температуры, обусловленного процессами распада аустенита в установленном диапазоне температур  $A_3 \sim [880 \text{ }^\circ\text{C}] - A_1 \sim [700 \text{ }^\circ\text{C}]$ .

2. Получены новые зависимости, описывающие изменение коэффициента теплоёмкости ( $C_p$ ) от температуры при горячей деформации и последующем охлаждении. Использование предложенных зависимостей позволило уточнить известные теплофизические модели изменения теплового состояния прокатываемой заготовки на всех этапах её производства; для трубных марок сталей определен диапазон изменения коэффициента теплоёмкости:  $[0,42-1,31]$  Дж/(г·К).

3. Уточнена математическая модель прогнозирования значений физикомеханических свойств трубного проката (временного сопротивления, предела текучести, ударной вязкости, твёрдости и доли вязкой составляющей при испытаниях падающим грузом), отличающаяся тем, что модель позволяет использовать данные разработанной модели теплового состояния трубного проката с учётом приращения температуры обусловленного процессами распада аустенита; достоверность прогнозных значений уточнённой модели составляет: для временного сопротивления –  $[98,3]$  %, для предела текучести –  $[97,9]$  %, для ударной вязкости –  $[94,19]$  %, для твёрдости –  $[96,28]$  %, для доли вязкой составляющей при испытаниях падающим грузом –  $[97,95]$  %.

Важными результатами исследования диссертационной работы являются: установление количественных значений ряда физических величин для исследуемого химического состава стали, совершенствование моделей расчета теплового поля проката и физико-механических свойств, а также промышленная реализация результатов исследования с помощью автоматизированной системы контроля и управления технологическим процессом на толстолистовом стане 5000 горячей прокатки. В работе используются как современные, так и

классические математические методы моделирования с использованием больших выборок измерений параметров технологического процесса и физико-механических свойств готового проката.

Научными результатами является разработка методики расчёта теплового состояния горячекатаного листового проката после прокатки и ускоренного охлаждения, отличающаяся от известных учётом теплового эффекта распада аустенита в установленном диапазоне критических температур. Получены уравнения, описывающие зависимость коэффициента теплоёмкости от температуры при горячей прокатке и ускоренном охлаждении. Применение данных уравнений позволило уточнить известные теплофизические модели изменения теплового состояния прокатываемой заготовки на всех этапах её производства. Определен диапазон изменения коэффициента теплоёмкости стали трубных марок. Уточнена математическая модель прогнозирования значений механических свойств листового проката трубных марок стали в части обеспечения возможности применения результатов моделирования теплового состояния проката с учётом приращения температуры, обусловленного процессами распада аустенита.

Практические результаты работы нашли применение в металлургической промышленности в области производства толстолистового проката: создан комплекс программных средств, позволяющий рассчитывать тепловое состояние заготовки на технологической линии и прогнозировать значения физико-механических свойств проката. Спроектирован технологический режим производства толстых листов из трубных марок стали, обеспечивающий приращение значений ряда физико-механических свойств. Предложены усовершенствования системы контрольно-измерительных приборов ТЛС «5000» ПАО «ММК» и конструкции коллектора ламинарного охлаждения, позволяющие обеспечить прогнозирование теплового состояния и физико-механических свойств проката и варьировать интенсивность его ускоренного охлаждения по ширине.

Достоверность результатов экспериментальных исследований гарантируется их проведением на современном сертифицированном

оборудовании, таком как: комплекс пробоподготовки Buehler, прибор синхронного теплового анализа Netzsch STA 449C Jupiter. Обработку технологических данных проводили с использованием новейшего лицензионного программного обеспечения.

Обоснованность результатов исследований подтверждается использованием их при выполнении НИРиТР по теме «Разработка информационной системы прослеживаемости и идентификации комплекса потребительских свойств горячекатаного листа для электросварных прямошовных труб» по заказу ПАО «ММК».

Основное содержание диссертации отражено в 30 печатных работах в научно-технических изданиях, 6 работ опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, 6 статей - в журналах, индексируемых в международных наукометрических базах данных Scopus и Web of Science. Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением. Результаты исследований в достаточной степени доложены и обсуждены на конференциях различного уровня, в том числе и международных в период 2019–2023 гг.

Автореферат диссертации и публикации достаточно полно отражают содержание диссертационной работы.

#### **Замечания по работе:**

1. Формулировка «трубный прокат», присутствующая в теме, задачах и тексте работы - не является общепринятой.
2. Не достаточно исследовано влияние дифференцированного ускоренного охлаждения на формирование внутренних напряжений в листовом прокате и плоскостность.
3. По данным работы, величина деформационного разогрева заготовки при прокатке не превышает 12 °С. Целесообразность учета данной величины в расчёте дальнейшего распределения температур требует подтверждения опытными данными.

4. Имеющаяся в работе новизна технических и технологических решений по УО толстолистного проката на стане 5000 не подкреплена заявками на изобретения и патентами.

5. В актах внедрения не приведены количественные результаты практического использования результатов исследования диссертанта.

6. В тексте диссертации имеются опечатки.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости работы и полученных в диссертации результатов исследований.

### **Заключение**

Диссертационная работа Масленникова Константина Борисовича «Совершенствование технологии и оборудования производства трубного проката класса прочности К60 на основе моделирования термомеханической обработки» актуальна, содержит научную новизну, обладает практической значимостью и является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании проведенных исследований решена задача получения заданных механических свойств проката из трубных марок сталей класса прочности К60 за счет совершенствования технологии и оборудования толстолистного стана горячей прокатки. Материалы достоверны и апробированы.

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением в части областей исследования:

П.1 «Закономерности деформирования материалов и повышения их качества при различных термомеханических режимах...».

П. 3 «Методы деформирования, формирующие в материалах структуру с комплексом физико-механических свойств, обеспечивающих повышение возможностей пластического формообразования заготовок и последующей эксплуатации изделий».

В целом диссертация Масленникова Константина Борисовича соответствует требованиям п.п. 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней» № 842 от 24.09.2013, а ее автор заслуживает присуждения ученой

степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением.

Диссертационная работа Масленникова К.Б. и отзыв на нее обсуждены на заседании кафедры «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» (протокол № 2/н от 01.11.2023 г.).

Отзыв составил:

Профессор кафедры «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», д.т.н. (научная специальность 05.16.05. - Обработка металлов давлением), профессор



Шаталов Роман Львович

Заведующий кафедрой «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», к.т.н. (научная специальность 05.02.09. - Технологии и машины обработки давлением)



Матвеев Алексей Григорьевич

Эл. почта: [a.g.matveev@mospolytech.ru](mailto:a.g.matveev@mospolytech.ru)

Данные о ведущей организации: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет» (Московский политехнический университет) 107023, г.Москва, ул. Б. Семеновская, д.38 тел. +7 (495) 223-05-23, эл. почта: [mospolytech@mospolytech.ru](mailto:mospolytech@mospolytech.ru)

подпись Матвеев А.Г. заверяю

