

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Масленникова Константина Борисовича «Совершенствование технологии и оборудования производства трубного проката класса прочности К60 на основе моделирования термомеханической обработки», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением

### Актуальность темы исследования

Зависимость экономики РФ от добычи и транспортировки природного газа приводит к интенсивному развитию газотранспортной инфраструктуры страны. Эксплуатационные требования к трубопроводам приводят к необходимости применения трубной заготовки из низкоуглеродистых микрелегированных сталей с высоким уровнем механических свойств. Одним из наиболее распространённых способов производства данного типа заготовки является контролируемая термомеханическая обработка. Реализуется она путём осуществления варьируемого воздействия на металл в процессе прокатки (исполнение заданных диапазонов температур деформации и степеней обжатия) и интенсивности последеформационного охлаждения проката. Примером трубной заготовки данного типа является толстолистовой прокат класса прочности К60, обладающий высоким уровнем прочностных свойств и характеристик вязкости разрушения.

Для обеспечения стабильности получения механических свойств толстолистового проката из трубных марок стали класса прочности К60 актуальным является вопрос настройки параметров термомеханической обработки. С этой целью широко применяется моделирование физических процессов, происходящих в стали при горячей прокатке и последеформационном ускоренном охлаждении. В связи с этим тематика диссертационной работы представляет научный и практический интерес.

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»	
за № _____	
Дата регистрации	04.12.2023
Фамилия регистратора	_____

## Научная новизна

Новизна диссертационной работы получена в результате комплексного исследования особенностей изменения теплового поля листа при реверсивной горячей прокатке и последеформационном ускоренном охлаждении. К числу наиболее существенных результатов диссертации следует отнести следующие:

1. разработана методика расчёта распределения температуры по толщине горячекатаного трубного проката после реверсивной прокатки и ускоренного охлаждения, с учётом изменения температуры, обусловленного процессами распада аустенита в установленном диапазоне критических температур  $A_3 \sim [880) \text{ }^\circ\text{C} - A_1 \sim [700) \text{ }^\circ\text{C}$ ;

2. получены новые уравнения, описывающие зависимость коэффициента теплоёмкости от температуры при горячей деформации и последующем охлаждении. Использование уравнений позволило уточнить известные теплофизические модели изменения теплового состояния прокатываемой заготовки. Для трубных марок сталей определен диапазон изменения коэффициента теплоёмкости:  $[0,42-1,31] \text{ Дж}/(\text{г}\cdot\text{К})$ ;

3. уточнена математическая модель прогнозирования ряда значений механических свойств трубного проката, 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 –  $[97,95] \%$ .

## Практическая значимость

Практическая значимость диссертационной работы Масленникова К. Б. базируется на внедрении результатов исследования в технологические процессы производства современного высокопроизводительного толстолистного стана «5000» ПАО «ММК» с проектной мощностью стана

до 1,5 млн. т проката в год. Данный объект является одним из трёх станов подобного типа в Российской Федерации, производящих подкат высоких классов прочности для производства труб большого диаметра, применяемых в возведении и эксплуатации магистральных трубопроводов.

Практическое применение результатов работы осуществлено посредством разработки и внедрения программного комплекса, реализующего предложенную методику расчёта теплового состояния проката и усовершенствованную модель прогнозирования механических свойств проката при контролируемой прокатке с последующим ускоренным охлаждением на толстолистовом стане горячей прокатки.

Также предложена усовершенствованная система контрольно-измерительных приборов на толстолистовом стане горячей прокатки «5000» ПАО «ММК», способствующая расширению области пирометрических измерений с целью обеспечения прогнозирования физико-механических свойств проката по его ширине. Разработана новая конструкция коллектора ламинарного охлаждения, способствующая повышению вариативности теплоотвода по ширине листа для снижения внутренних напряжений в нём.

Результаты внедрения подтверждаются соответствующими актами.

### **Личный вклад автора**

Личный вклад Масленникова К.Б. заключается в разработке алгоритма расчёта распределения температуры по толщине горячекатаного проката после контролируемой прокатки и ускоренного охлаждения; в получении уравнений, описывающих изменение коэффициента теплоёмкости от температуры при горячей деформации и последующем охлаждении; в уточнении математической модели прогнозирования физико-механических свойств трубного проката.

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

Достоверность и обоснованность и результатов диссертационного исследования подтверждается корректным использованием современных

представлений о физике исследуемого технологического процесса и методов исследования на современном исследовательском оборудовании.

Достоверность модельных расчётов основана на сопоставлении результатов моделирования с промышленными экспериментами.

Следует отметить достаточно обширный перечень публикаций и апробацию результатов исследования на значимом количестве конференций, семинаров и симпозиумах, что также указывает на весомую степень достоверности результатов.

### **Замечания и вопросы по диссертационной работе в целом**

1. В выводах по главам не достаёт конкретных численных значений и качественных результатов.

2. Один из пунктов научной новизны отражает определение фактических значений коэффициента теплоёмкости исследуемой стали. Однако, наряду с коэффициентом теплоёмкости в практических расчётах широко применяется коэффициент теплопередачи, уточнение которого также может быть весьма полезными для данного научного исследования.

3. В качестве рекомендованного совершенствования системы контрольно-измерительных приборов приводится расширение системы пирометрических измерений. Чем обоснован выбор данной методики, а не применение тепловизора?

4. В ряде работ российских и зарубежных исследователей отмечается влияние параметров нагрева заготовки на механические свойства готового листа. Это связано, в частности, с растворением частиц (например, нитрида титана) и соответствующим увеличением размеров аустенитных зёрен в слябе. Как данный фактор учитывался в математической модели прогнозирования физико-механических свойств?

5. Таблица 3.1 «Основные параметры частных выборок по физико-механическим свойствам» содержит данные, послужившие основой для построения регрессионных моделей. Однако по указанным параметрам есть вопросы:

- встречаются нереалистичные значения, например твёрдость HV 104,5 или равномерное удлинение 53%. Как можно объяснить наличие таких значений?

- есть механические свойства, которые имеют крайне малый размер выборки, например CTOD -20 (2 значения) или DWTT -10 (17 значений). Зачем данные механические свойства приведены в разделе и таблице? И проводился ли для них регрессионный анализ?

### **Заключение по диссертационной работе**

Указанные недостатки носят частный характер и не снижают ценности научных и практических результатов исследования.

Представленная диссертация является комплексным исследованием, выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу.

Работа обладает актуальностью, научной новизной, практической значимостью и решает поставленные задачи. Цель достигнута: разработан комплекс мероприятий по совершенствованию технологии и оборудования для производства трубного проката класса прочности К60, обеспечивающие требуемый уровень его физико-механических свойств.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию на 9 научно-технических конференциях, в том числе международных, и опубликованы в 30 научных трудах соискателя, в том числе 6 статьях в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, и 6 статьях, внесенных в международные базы данных Scopus и Web of Science.

Автореферат отражает содержание диссертации в полной мере.

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

Пункту 1: «Закономерности деформирования материалов и повышения их качества при различных термомеханических режимах, установление оптимальных режимов обработки».

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

Представленная диссертационная работа соответствует требованиям п.п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней» РФ № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Масленников Константин Борисович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением.

Официальный оппонент:



Мунтин Александр Вадимович

ученая степень: кандидат технических наук,

шифр научной специальности: 05.02.09

должность: директор Инженерно-технологического центра

АО «Выксунский металлургический завод»

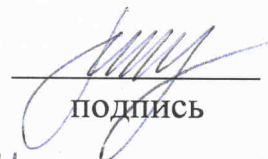
адрес: 607061, г. Выкса, ул. Бр. Баташевых, 45

тел.: + 7 910 384 1205

e-mail: muntin\_av@omk.ru

01.12.2023 г.

Я, Мунтин Александр Вадимович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Масленникова Константина Борисовича, и их дальнейшую обработку.

  
ПОДПИСЬ



Согласие А.В. Мунтина заверено  
руководителем центра документационно-информационного обеспечения  
Ищериной И.В. 01.12.2023