

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 диссертации

В последние годы интенсивное развитие газотранспортной системы страны повлекло за собой разработку низкоуглеродистых микролегированных сталей с уникальным уровнем механических свойств, совершенствование технологий внепечной обработки при выплавке стали и термомеханической обработки проката. Одним из основных способов воздействия на металл в процессе прокатки является варьирование температуры черновой и/или чистовой деформации, степени и дробности обжатия, интенсивности последеформационного охлаждения листа, что составляет суть контролируемой термомеханической обработки (КТМО).

В результате КТМО толстолистовой прокат класса прочности К60 обладает высоким уровнем прочностных свойств $\sigma_{0,2} \geq 460$ МПа, $\sigma_B = 590$ МПа и, особенно, вязкопластических характеристик ($KCV^{-40} \geq 2,5$ МДж/м², $V \geq 85$ %, $t_{xp} \leq -40^\circ\text{C}$). Возможность регулирования параметров термомеханической обработки является актуальным не только с точки зрения контроля технологического процесса и повторяемости свойств листа, но и для получения проката с более высоким комплексом механических свойств.

Для изученного в работе нового класса трубных сталей типа 06Г2БМ реализовано прецизионное действие нескольких механизмов упрочнения, приводящее к высокой конструктивной прочности: пластичность обусловлена сравнительно мягкой ферритной основой стали и более прочными, но обладающими повышенной деформируемостью, кристаллами низкоуглеродистого бейнита, а прочность – малым размером зерен

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»
за № _____
Дата регистрации <u>30.11.2023</u>
Фамилия регистратора _____

(субзерен) феррита с дозированным дисперсионным упрочнением и повышенной плотностью дислокаций в сдвиговых продуктах превращения аустенита. В итоге после КТМО стали класса прочности К60 обладают сверхнизким порогом хладноломкости, а эксплуатационная надежность магистральных трубопроводов определяется, в первую очередь, склонностью к преимущественно вязкому разрушению.

В связи с этим представляет научный и практический интерес обеспечение требуемого комплекса механических свойств трубного проката класса прочности К60 за счет совершенствования технологии и оборудования его производства с использованием теплофизического и математического моделирования. Кроме того, тематика диссертации Масленникова К.Б. соответствует Приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники РФ и Перечню критических технологий РФ, а значит представляется актуальной, имеющей важное значение для науки и промышленного использования.

Новизна проведенных исследований и полученных результатов

Новизна диссертационной работы заключается в теоретическом и экспериментальном обосновании особенностей теплового состояния проката при термомеханической обработке с выделением технологических параметров, позволяющих в изученном диапазоне значений изменять структурно-фазовое состояние и комплекс механических сталей опытных композиций низкоуглеродистых микролегированных сталей. К числу наиболее существенных результатов диссертации следует отнести следующие:

1) предложена методика расчёта температурных полей проката в процессе контролируемой термомеханической обработки;

2) получены температурные зависимости теплоемкости C_p при горячей деформации и последующем охлаждении; для изученных сталей диапазон изменения коэффициента теплоёмкости составляет $C_p = 0,42-1,31$ Дж/(г·К);

3) предложена модель прогнозирования значений механических свойств трубного проката (временного сопротивления, предела текучести, ударной вязкости, твёрдости и доли вязкой составляющей при испытаниях падающим грузом) на основе использования теплового состояния трубного проката, учитывающего величину экзотермического теплового эффекта γ - α превращения.

Личный вклад Масленникова К.Б. заключается в разработке алгоритма расчёта распределения температуры по толщине горячекатаного трубного проката после реверсивной прокатки и ускоренного охлаждения; в получении новых данных, описывающих изменение коэффициента теплоёмкости от температуры при горячей деформации и последующем охлаждении; в уточнении математической модели, позволяющей в определенном диапазоне температур прокатки прогнозировать значения механических свойств трубного проката.

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

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, полученных в диссертации, подтверждается корректным использованием современных методов исследования с помощью аттестованной аппаратуры, а также воспроизводимостью и непротиворечивостью результатов, полученных различными методами. Достоверность работы основана на сопоставлении результатов моделирования с промышленными экспериментами, а также подтверждена апробацией основных результатов на конференциях и семинарах, в опубликованных работах.

Значимость результатов для производства

Практическая значимость работы заключается в том, что на основе предложенной методики расчёта теплофизического состояния листов был

разработан программный комплекс для прогнозирования механических свойств проката при термомеханической обработке на толстолистовом стане горячей прокатки «5000» ПАО «ММК».

Кроме того, предложена усовершенствованная система контрольно-измерительных приборов на толстолистовом стане горячей прокатки «5000» ПАО «ММК», позволяющая расширить область пирометрических измерений и обеспечить прогнозирование теплового состояния и физико-механических свойств проката по его ширине; разработана новая конструкция коллектора ламинарного охлаждения, обеспечивающая снижение внутренних напряжений проката и позволяющая настраивать подачу охладителя по ширине проката при ускоренном охлаждении.

Замечания и вопросы по диссертационной работе в целом

1. Анизотропия механических свойств в листе вдоль и поперек направления прокатки определяется, в первую очередь, структурно-фазовым состоянием аустенита (размером зерен/субзерен, типом границ, плотностью дислокаций, кристаллографической текстурой) как при черновой, так и при чистовой прокатке. Чем обусловлен выбор используемых в работе параметров деформации листа при прокатке?

2. При низкотемпературных режимах прокатки (ниже температуры A_3) фазовое γ - α -превращение и рекристаллизация и/или полигонизация феррита могут протекать одновременно. Каким образом можно разделить наложение тепловых эффектов этих превращений и как учесть этот эффект в предложенной модели?

3. Одним из недостатков работы является отсутствие в обзоре литературных источников информации об аттестации проката после КТМО. В тексте приведены только требования стандарта к химическому составу стали и уровню прочностных свойств проката. В то же время для построения регрессионной модели расчета в качестве переменных использовались 43 физико-механических свойства (табл. 3.1). Каковы физические основы

выбора столь широкого круга характеристик? Почему в качестве более значимых из 43 характеристик выбраны 12 свойств, приведенных в табл. 4.5?

4. Какой из пяти изученных экспериментальных режимов прокатки и на основании каких экспериментальных данных можно рекомендовать в качестве основного при изготовлении проката класса прочности K60?

5. Изменение каких из предложенных в работе технологических параметров КТМО позволит получить прокат более высокого класса прочности, например, K70 или K80?

6. Проведенная в работе оценка деформационного разогрева металла при чистовой прокатке по режиму 1 показала, что она находится в диапазоне $\Delta t = 1,0 \dots 10,0^\circ\text{C}$ за проход (табл. 2.10). Достаточна ли точность измерения температуры пирометром для регистрации столь малого теплового эффекта?

7. В работе предложена схема совершенствования системы КИП ТЛС «5000» за счет расширения пирометрического контроля по ширине проката на входе в установку ускоренного охлаждения. Почему это усовершенствование введено только на участке перед ускоренным охлаждением, а не на других участках стана, например, перед чистовой прокаткой листов?

Общая характеристика диссертационной работы

В целом, несмотря на отмеченные недостатки и замечания, представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, связанную с изучением теплового состояния проката при контролируемой термомеханической обработке и последующем регулируемом ускоренном охлаждении на толстолистовом стане горячей прокатки «5000» ПАО «ММК», а также прогнозирования комплекса физико-механических свойств низкоуглеродистых микролегированных сталей для получения заданного класса прочности.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию на 9 научно-технических конференциях, в том числе с международным участием, 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 полностью отражает содержание диссертации.

Представленная диссертационная работа по своим актуальности, содержанию, научной новизне и практической значимости полученных результатов соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года), 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:

Хотинов Владислав Альфредович

ученая степень: доктор технических наук,
шифр научной специальности 05.16.01 –
Металловедение и термическая обработка
металлов и сплавов,

ученое звание: доцент по специальности,

должность: профессор кафедры

Термообработки и физики металлов

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный

университет имени первого Президента

России Б.Н. Ельцина»

адрес: 620002, г. Екатеринбург,

ул. Мира, д. 28

тел. +79089019912

e-mail: khotinov@yandex.ru

20.11.2023

Подпись
заверяю



ПРОФЕССОР
УДИОВ
А.А.