

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор - Проректор  
по научной и инновационной работе  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,  
доктор технических наук, профессор



М.В. Чукин

11 2017 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И.Носова»

на диссертационную работу Шкуратова Евгения Александровича  
«Оптимизация процесса непрерывной раскатки гильз с целью повышения  
точности горячекатаных бесшовных труб», представленную на соискание  
ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.16.05 - «Обработка металлов давлением»

### Актуальность темы диссертации

Повышение точности труб по толщине стенки является одной из приоритетных и ключевых задач для производителей горячедеформированных бесшовных труб. В последнее время тенденцией мирового развития трубопрокатного производства является применение в линии трубопрокатного агрегата (ТПА) непрерывного раскатного стана с 3-валковыми клетями и удерживаемой оправкой. Формирование толщины стенки в непрерывном раскатном стане в значительной мере определяет характер распределения продольной и поперечной разнотолщинности и состояние поверхности на готовых трубах. При этом определяющими, с точки зрения окончательного

формирования толщины стенки и обеспечения требуемых условий (ограничений) необходимых для извлечения раската с оправки станом-извлекателем являются чистовые клетки. В свою очередь наличие ограничений, предопределяет необходимость решения оптимизационной задачи. Однако, в виду того, что станы подобного типа введены в эксплуатацию относительно недавно, а большинство исследований проведено для станом с 2-валковыми клетями, то это не позволяет в полном объеме перенять накопленный опыт для изучения и совершенствования технологии раскатки гильз с использованием непрерывных раскатных станом с 3-валковыми клетями. Кроме того, большинство работ по проектированию калибровки валков как для 2-х, так и 3-валковых калибров базируются, как правило, на общеизвестных принципах построения. Однако данные принципы не учитывают граничные условия процесса прокатки:

- позволяющие оптимизировать технологию процесса прокатки с точки зрения повышения точности труб по толщине стенки;
- обеспечивающие безаварийное протекание процесса с учётом извлечения раската с оправки станом-извлекателем.

В связи с изложенным, решённые в диссертационной работе задачи, направленные на исследование технологии продольной прокатки на непрерывных раскатных станом с 3-валковыми клетями и её совершенствование за счет разработки нового подхода к повышению точности труб по толщине стенки, базирующегося на решении оптимизационной задачи с учетом научно обоснованной системы ограничений на управляющие параметры процесса раскатки являются актуальными.

### **Структура и содержание диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, изложена на 166 страницах машинописного текста, включающего 63 рисунка, 16 таблиц, список использованных источников из 152 наименований отечественных и зарубежных авторов, 5 приложений. Информация,

приведенная в автореферате соответствует основному содержанию диссертации и дает полное представление о её научных положениях, результатах и основных выводах.

### **Оценка глав диссертации**

**Во введении** обоснована актуальность и освещена степень разработанности тематики исследования, сформулированы цель работы и задачи исследования, перечислены полученные автором результаты, раскрыта их научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** представлены особенности технологии и оборудования непрерывных раскатных станов продольной прокатки. Отмечены основные преимущества и недостатки процесса прокатки полых заготовок с использованием раскатного стана продольной прокатки с 2-х и 3-валковыми клетями. Автором особое внимание уделено зарубежному опыту эксплуатации современных непрерывных раскатных станов с 3-валковыми клетями. Проведено исследование влияния калибровки валков и параметров процесса раскатки на качество труб. Рассмотрены основные виды калибров, а также принципы построения калибровки валков и режимов обжатий в чистовых клетях стана. Рассмотрены теоретические основы процесса непрерывной продольной прокатки труб. На основе обзора научно-технической информации автором установлены основные направления совершенствования технологии продольной прокатки труб с использованием непрерывных раскатных станов с 3-валковыми клетями, и сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

**Во второй главе** представлены теоретические исследования и оптимизация процесса прокатки труб в чистовых клетях с 3-валковыми калибрами. Приведена постановка задачи оптимизации, определен критерий оптимизации и управляющие параметры процесса. Сформулирована система ограничений на управляющие параметры, регламентирующая снижение овальности в чистовых калибрах при заполнении стана, установившемся

процессе и в процессе освобождения стана с учетом выполнения условий первичного, вторичного захватов металла валками и при заполнении межклетевого промежутка с учетом отрицательного воздействия оправки на раскат. На основании результатов физического моделирования установлена минимально допустимая величина овальности чистовых калибров при которой деформация раската осуществляется без образования поперечных разрывов. Кроме того, определены экспериментальные зависимости для расчета угла охвата оправки, уширения раската и изменения толщины стенки в выпуске калибра учитывающие величину овальности калибра и параметры процесса прокатки. Для определения оптимальной величины овальности чистовых калибров автором разработан алгоритм в основе которого лежит метод Бокса-Уилсона. Для определения геометрических параметров чистовых калибров на каждом шаге оптимизации разработана универсальная модель расчета калибровки валков. В результате, проведенные автором теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать универсальную методику расчета на основании которой определено оптимальное сочетание величин овальности чистовых калибров непрерывного раскатного стана, способствующих повышению точности раскатываемых труб и обеспечивающие стабильное протекание процесса прокатки.

**В третьей главе** представлены результаты лабораторных исследований разработанной методики расчета оптимальной величины овальности чистовых калибров. Исследование формоизменения раската проведено на основе физического моделирования на лабораторном прокатном стане, имеющем в составе основного оборудования клеть с 3-валковым калибром. В качестве модельного материала образцов, имитирующего прокатку нагретой стали, использован свинец, который также исключает фактор влияния неравномерного нагрева на результаты эксперимента. Эксперимент проведен с тройной кратностью повторения опытов. Из анализа результатов лабораторных исследований автором установлено, что прокатка труб в чистовых калибрах с оптимальной величиной овальности способствует лучшему распределению

толщины стенки в поперечном сечении раската. При этом результаты, полученные с использованием разработанной методики, сопоставляются с экспериментальными данными с достаточно высокой точностью.

**В четвертой главе** представлено опытно-промышленное исследование и сопоставление результатов расчета по разработанной методике с промышленными данными. Оценка результатов расчёта параметров процесса прокатки проведена в условиях ТПЦ-1 ПАО «СТЗ» на ТПА со станом FQM. Для достоверной оценки результатов был получен и всесторонне исследован недокат, образованный во всех клетях стана FQM. По результатам исследования, автором сделан вывод, что разработанная методика демонстрирует достаточно высокую сходимость при определении характера формоизменения раската в зависимости от овальности чистовых калибров. Кроме того, разработанная математическая модель для определения угла охвата оправки позволяет рассчитывать данную величину с погрешностью, не превышающей 2,0 %. С учетом промышленных данных, результатов компьютерного и физического моделирования разработан и зарегистрирован программный продукт, позволяющий оперативно определять оптимальное сочетание величин овальности чистовых калибров с целью получения горячекатаных труб, отвечающих повышенным требованиям, предъявляемым к точности геометрических параметров. Кроме того, с использованием разработанной методики расчета оптимальной величины овальности чистовых калибров спроектирована новая форма 3-валкового калибра способствующего снижению угла охвата оправки и повышению точности горячекатаных труб не менее чем в 1,5 раза.

В заслугу автору следует поставить не только теоретическую проработку задач, направленных на совершенствование процесса прокатки на непрерывном раскатном стане, но и организацию и проведение экспериментальных и опытно-промышленных работ в условиях реального производства.

## **Основные научные результаты и их значимость для науки и производства**

К основным научным результатам диссертационной работы необходимо отнести следующее.

### **Научная новизна:**

- разработана научно обоснованная и экспериментально подтвержденная система ограничений, накладываемых на управляющие параметры процесса прокатки в чистовых калибрах;

- с учетом ограничений процесса прокатки определено оптимальное сочетание величины овальности калибров чистовых клетей, способствующих получению труб с минимальным доверительным интервалом изменения толщины стенки;

- определена предельная величина овальности 3-валковых калибров чистовых клетей, при которой раскат деформируется без образования поперечных разрывов;

- численно определена условная граница коэффициента вытяжки, при котором деформация раската осуществляется без изменения толщины стенки в выпуске 3-валкового чистового калибра;

- получена аналитическая зависимость для расчёта угла охвата оправки, учитывающая величину овальности калибра и параметры процесса прокатки;

- проведено ранжирование стадий осуществления захвата металла валками в чистовых калибрах, выявлены наиболее значимые факторы их определяющие.

### **Практическая значимость:**

- разработан программный комплекс Ovality2<sup>+</sup> позволяющий оперативно определять оптимальное сочетание величин овальности чистовых калибров с учетом параметров системы ограничений процесса, обеспечивающих раскатку труб с повышенной точностью;

- разработана и всесторонне исследована оптимальная система калибров непрерывного раскатного стана, обеспечивающая получение труб с повышенной точностью;

- разработан и всесторонне исследован новый 3-валковый калибр непрерывного раскатного стана обеспечивающий повышение качества труб за счёт снижения поперечной разнотолщинности и уменьшения угла охвата оправки металлом раската.

#### **Результаты диссертационной работы:**

- реализованы в виде рекомендаций и методики расчета оптимальной калибровки валков чистовых клетей непрерывного раскатного стана, внедрены и применяются в повседневной работе специалистами ПАО «СТЗ»;

- реализованы и внедрены при проектировании новой системы калибров ТПА со станом FQM ПАО «СТЗ»;

- реализованы и внедрены в учебный процесс при профессиональной переподготовке специалистов АО «ВТЗ» в 2015 г. по программе «Обработка металлов давлением» специализации «Трубное производство»;

- реализованы и внедрены в учебный процесс в виде Учебного пособия «Математическое моделирование сложных систем в металлургии», предназначенного для практических занятий и самостоятельной работы студентов по направлению «Металлургия» и профилю «Обработка металлов давлением».

#### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается использованием базовых положений теории обработки металлов давлением, а также современных методов и компьютерных программ для проверки теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в лабораторных условиях и при проведении опытно-промышленных работ в условиях действующего производства на ТПА со станом FQM.

Материалы диссертационной работы соответствуют заявленному паспорту специальности. Основные положения работы доложены и обсуждены на научных и научно-практических конференциях различного уровня. Результаты исследования широко опубликованы в научных изданиях, в том числе 5 статей, в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Зарегистрированы 2 евразийские заявки на изобретения, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Автореферат диссертации полностью отражает её содержание.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Результаты работы могут быть использованы на ведущих заводах-изготовителях бесшовных труб, имеющих в своём составе ТПА с непрерывными станами: ПАО «Северский трубный завод», г. Полевской; ПАО «ТАГМЕТ», г. Таганрог; АО «Волжский трубный завод», г. Волжский; ПАО «Синарский трубный завод», г. Каменск-Уральский. ПАО «Челябинский трубопрокатный завод» г. Челябинск; ОАО «Первоуральский новотрубный завод» г. Первоуральск и на других предприятиях, имеющих в составе основного оборудования линии ТПА непрерывный раскатной стан.

Результаты работы автора могут быть использованы в учебном процессе при подготовке специалистов, бакалавров и магистров по различным направлениям, связанным с обработкой металлов давлением.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. В работе численно не отражено влияние оптимальной калибровки валков на величину износа прокатного инструмента (валки, оправки раскатного стана);
2. При исследовании оптимальной калибровки валков и нового калибра 4 клетки стана FQM не отражено их влияния на усилие прокатки;



3. При расчете геометрических параметров очага деформации не учтена жесткость клеток.

Несмотря на высказанные замечания, можно сформулировать следующее положительное заключение по диссертации.

### **Заключение по диссертационной работе**


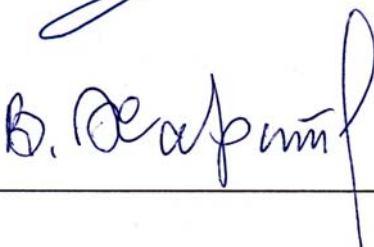
Анализ материалов, представленных Е.А. Шкуратовым в диссертационной работе, позволяет сделать следующие выводы:

1. Диссертация является законченной научно-квалифицированной работой, в которой, на основании выполненных автором исследований, представлен новый научно обоснованный подход к повышению точности труб по толщине стенки базирующейся на решении оптимизационной задачи и научно обоснованной системе ограничений, позволяющей оптимизировать процесс раскатки гильз с точки зрения повышения точности труб и стабильности протекания процесса прокатки. Материалы и выводы диссертации достоверны. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Научные и практические результаты выполненной диссертационной работы вносят существенный вклад в разработку ресурсосберегающей технологии производства бесшовных труб, отвечающих повышенным требованиям, предъявляемым к точности геометрических параметров.

2. Диссертационная работа соответствует критериям ВАК РФ, определённым п.п. 9 – 14 «Положения о присуждении учёных степеней» к работам на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор, Шкуратов Евгений Александрович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 - «Обработка металлов давлением».

Доклад Шкуратова Евгения Александровича по диссертационной работе на тему «Оптимизация процесса непрерывной раскатки гильз с целью повышения точности горячекатаных бесшовных труб» заслушан и обсуждён на заседании кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова» (Протокол № 3 от 07.11.2017 г.).

  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_

Профессор кафедры технологий обработки материалов, доктор технических наук, профессор  
Песин Александр Моисеевич

Профессор кафедры технологий обработки материалов, кандидат технических наук, профессор  
Харитонов Вениамин Александрович

Адрес организации:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего

образования «Магнитогорский государственный

технический университет им. Носова»

Тел.: +7 3519 298 402

Email: mgtu@magtu.ru

