



## ОТЗЫВ

официального оппонента к.т.н. Лубе И.И. на диссертационную работу Аль-Джумаили Мохаммеда Жасима Мохаммеда на тему: «Повышение эффективности процесса непрерывной раскатки гильз на основе совершенствования методики настройки трубопрокатного стана», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением

### 1. Актуальность работы

В настоящее время активное развитие нефтегазовой отрасли, связанное с необходимостью освоения новых месторождений в отдаленных и труднодоступных районах, и применение инновационных технических решений, направленных на интенсификацию процессов разведки и добычи углеводородов, снижение затрат на их реализацию, ставят перед металлургическими предприятиями новые задачи по повышению уровня эксплуатационных характеристик труб: ужесточение геометрических параметров и требований к качеству поверхности, повышение прочностных характеристик, коррозионной стойкости и хладостойкости.

Выполнение комплекса мероприятий по обеспечению требований потребителей зачастую сопровождается длительным периодом освоения производства продукции. А, при отсутствии точных инструментов для расчёта параметров технологического процесса, мероприятия, направленные на освоение высокотехнологичной продукции, сопровождаются выходом из строя технологического инструмента и отдельных узлов оборудования, что приводит к дополнительным простоям технологических линий и, как результат, к финансовым потерям.

Таким образом диссертационная работа Аль-Джумаили Мохаммеда Жасима Мохаммеда, направленная на повышение эффективности процесса раскатки гильз в непрерывных станах, в рамках которой предложена методика расчёта энергосиловых параметров, показавшая высокую сходимость расчетных данных с практическими результатами, выявлены новые зависимости для оперативного контроля процесса прокатки, регламентированы мероприятия по изменению настройки непрерывного стана, способствующие выравниванию энергосиловых параметров процесса, является весьма актуальной и своевременной.

### 2. Структура и содержание диссертации

Диссертационная работа включает введение, четыре главы, выводы, библиографический список из 95 наименований и 2 приложения, подтверждающие внедрение результатов работы в учебный процесс и её практическую значимость. Объем диссертации составляет 125 стр., 59 рис., 24 табл.



Автореферат диссертации соответствует тексту диссертации.

Во введении автором освещена степень проработки тематики исследований и сделаны выводы об актуальности работы, сформулирована цель работы, задачи исследования и научная новизна, теоретическая и практическая значимость, представлены положения, выносимые на защиту.

Первая глава «Процесс раскатки гильз в непрерывном раскатном стане» содержит сведения об особенностях работы непрерывных станов различной конструкции (с двухвалковыми и трехвалковыми клетями, с удерживаемой и плавающей оправками): автором сравниваются конструкции, технологические особенности работы оборудования, оснащённость станов автоматизированными системами управления. По результатам анализа технологии производства горячекатаных труб в линиях ТПА с непрерывным станом и, в частности, процесса деформации труб в непрерывных станах автором сформулированы основные причины образования характерных дефектов и износа дорогостоящего инструмента – длинных оправок, сделан вывод о «наиболее логичных» путях снижения дефектов трубах, к которым отнесены перераспределение деформации между клетями и повышение точности проката.

На основании рассмотрения различных методик определения энергосиловых параметров сделан вывод, что они не учитывают влияние продольных усилий, возникающих в межклетевых промежутках, а точное определение контактных площадей металла и инструмента с помощью аналитического метода является трудоёмкой задачей. Исключить данные недостатка предложено за счёт рассмотрения условий равновесия проекций сил, действующих на очаг деформации, и решения уравнения баланса мощностей, а также получения эмпирических зависимостей для определения уширения и угла охвата оправки металлом.

По результатам анализа научно-технической литературы автором сделаны выводы, являющиеся предпосылками выполняемой работы, обоснованы и сформулированы актуальные задачи исследования, направленные на повышение эффективности процесса непрерывной раскатки гильз за счёт сокращения аварийных ситуаций.

Во второй главе «Разработка математической модели и методики для расчёта энергосиловых параметров» на основании решения уравнений равновесия проекций сил, действующих в продольном направлении очага деформации непрерывного стана, автором представлены зависимости для расчёта давлений, действующих на валок и оправку. Выражение для определения продольных напряжений, возникающих в межклетевых участках непрерывного стана, получено на основании решения уравнения баланса мощностей: автором определены составляющие баланса, предложены зависимости для их определения, используемые в выражении для расчёта действующего напряжения. Для проверки достоверности и адекватности разработанной методики расчёта энергосиловых параметров автором проведены тестовые расчёты, которые сравнивались с производственными данными, полученными в процессе прокатки труб размером 325×8,0 мм в линии ТПА с непрерывным станом FQM 14 3/8" АО «СТЗ». Сопоставление результатов расчётов с производственными данными показало высокую степень сходимости, что



подтверждает адекватность разработанного алгоритма и математической модели. Различия в полученных расчётным путем и фактических значениях усилий на валки первых клетей непрерывного стана автором предложено нивелировать за счёт повышения точности расчёта площади контактной поверхности металла с инструментом по эмпирическим формулам, выведенным по результатам дополнительных экспериментальных исследований.

В третьей главе «Экспериментальное исследование формоизменения в очаге деформации при продольной прокатке труб на оправке» представлены результаты экспериментального исследования формоизменения металла в очаге деформации при продольной прокатке свинцовых полых образцов на лабораторном прокатном стане в условиях ОАО «РосНИТИ» и результаты компьютерного моделирования процесса прокатки в среде QForm-3D. Для опытной работы были подготовлены валки лабораторного стана. Девять образцов диаметрами 41,2-43,4 мм с отношением D/S 14,2, 12,1, 10,9 прокатывались на цилиндрической оправке диаметром 31,6 мм. Статистическая обработка результатов экспериментального исследования позволила выявить зависимости для расчета угла охвата оправки металлом и коэффициента уширения, применяемых для определения площади контактной поверхности металла с инструментом. Для получения численных значений коэффициентов уравнений регрессии автором использовался метод наименьших квадратов, являющийся эффективным при подобных расчётах.

Отдельно следует отметить представленные в главе результаты компьютерного моделирования в среде QForm-3D процесса прокатки тонкостенных труб с отношением D/S 40 и 50 в непрерывном стане с учётом различных вариантов варьирования скорости перемещения оправки. По итогам выполненной работы автором наглядно проиллюстрирована зависимость показателя  $\sigma/\tau$ , температуры поверхности наружного слоя оправки, давления на оправку, усилия на валки и оправку, угла охвата оправки по клетям непрерывного стана от скорости перемещения оправки и, с учетом полученных данных, определить выражение для расчёта продольных усилий, действующих на оправку.

В четвертой главе «Разработка методики настройки непрерывного раскатного стана» представлены важные в практическом отношении результаты исследований влияния ключевых технологических параметров процесса раскатки гильз в непрерывном стане с удерживаемой оправкой на энергосиловые параметры. Выявлено, что наибольшее влияние на усилие металла на валки и удельные напряжения, действующие в межклетевых участках стана, оказывает изменения толщины стенки и наружного диаметра, коэффициента трения и частоты вращения валков. Также автором проведены исследования изменений уширения, угла охвата оправки и усилий металла на валки при варьировании позиций валков непрерывного стана, проанализировано влияние частоты вращения валков на усилие прокатки и величину натяжения для наиболее нагруженных клетей. При этом результаты проведённых автором исследований систематизированы и для их численного описания предложены соответствующие выражения. Выявленные автором закономерности имеют высокую практическую ценность и могут быть использованы для оперативного контроля основных параметров технологического процесса прокатки труб в непрерывных станах с



целью предотвращения аварийных ситуаций и исключения производства продукции низкого качества, повышения устойчивости процесса раскатки гильз в непрерывных станах.

### **3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Научные положения и рекомендации, представленные в диссертационной работе, достаточно аргументированы, основаны на анализе теоретических, экспериментальных исследований и результатов компьютерного моделирования в среде QForm-3D, прошли опытно-промышленную проверку надежности и адекватности.

Решение поставленных в диссертации задач осуществлено с использованием энергетических методов, приемов матричной алгебры и методов наименьших квадратов, параметрического анализа, а также методов статистической обработки результатов эксперимента.

### **4. Новизна исследований и их достоверность**

Научная новизна работы состоит в следующем:

- автором разработана методика расчета энергосиловых параметров процесса раскатки гильз в непрерывных станах с удерживаемой оправкой, позволяющая в режиме реального времени с высокой степенью точности определять давление металла на валки и оправку, продольные усилия между клетями непрерывного стана;
- определены эмпирические зависимости для расчета угла охвата оправки и уширения раската, уточняющие методику расчета площади контактной поверхности металла и инструмента (валков, оправки);
- определено влияние скорости перемещения оправки на технологические и энергосиловые параметры процесса прокатки;
- разработана математическая модель для расчета усилия удержания оправки;
- с использованием полученной математической модели выполнен параметрический анализ и определены основные закономерности процесса непрерывной раскатки гильз в непрерывном стане с удерживаемой оправкой, на основании которых разработаны технические предложения по повышению устойчивости процесса.

Достоверность основных положений и выводов диссертации подтверждается соответствием результатов расчета энергосиловых параметров процесса прокатки и экспериментальных данных, полученных в лабораторных и промышленных условиях, а также их сопоставимостью с результатами компьютерного моделирования.

### **5. Практическая значимость работы**

Практическая значимость работы связана с разработкой методики и созданием программного продукта для автоматизированного расчёта технологических и энергосиловых параметров процесса прокатки труб в непрерывных станах с удерживаемой оправкой.



Применение полученных автором математических зависимостей позволяет осуществлять оперативный контроль и регламентировать основные параметры процесса раскатки гильз в непрерывных станах, действующих на заводах РФ, корректировать скоростные режимы прокатки с целью снижения риска возникновения аварийных ситуаций.

Основные результаты работы опубликованы в научно-технических журналах, включая издания, рекомендованные ВАК РФ и индексируемых в БД Scopus, и доложены на конференциях различного уровня, в том числе международных.

## **6. Замечания по диссертационной работе**

### **1. Список сокращений и условных обозначений, введение, глава 1:**

- Представленный автором список сокращений и условных обозначений является неполным, то есть включает не все представленные в работе обозначения используемых переменных, ряд одинаковых параметров имеют различное обозначение по тексту работы, расшифровка для некоторых параметров не была найдена в тексте работы.

- Представленное автором описание технологии процесса прокатки труб в линии ТПА с непрерывным станом не является универсальным, а соответствует технологической схеме, применяемой в линии ТПА с непрерывным станом FQM 14 3/8" АО «СТЗ».

### **2. Глава 2:**

- В представленной автором схеме действия сил в продольном направлении не указаны силы трения на контакте металла с оправкой.

- В расчете энергосиловых параметров используется усредненное по объему очага деформации сопротивление металла пластической деформации. Процесс деформации не является изотермическим, так как происходит интенсивный отвод тепла от поверхности металла, контактирующей с инструментом, и, как результат, подхлаживание отдельных участков прокатываемой трубы. Применение среднего значения сопротивления деформации может привести к занижению энергосиловых параметров для отдельных, главным образом, последних клетей непрерывного стана, в которых температурное поле материала достаточно неравномерное.

- Количественная характеристика, распределение сил и скоростей непрерывной прокатки в очагах деформации клетей непрерывного стана различаются в процессе заполнения каждой клетки металлом, при устойчивом процессе прокатки и в период освобождения клетей стана от прокатываемого металла. По всей видимости, автором работы рассматривается период устоявшегося процесса прокатки, при котором гильза находится во всех клетях непрерывного стана и энергосиловые параметры процесса прокатки в первых клетях стана ниже соответствующих показателей при заполнении данных клетей металлом. Однако, именно в процессе заполнения клетей металлом энергосиловые параметры процесса прокатки достигают максимальных значений и могут приводить к поломке оборудования. Из текста работы не ясно, подходит ли предложенная Аль-Джумаили Мохаммедом Жасимом Мохаммедом методика для расчёта усилий прокатки в процессе заполнения очагов деформации непрерывного стана металлом.



- В формуле (18) допущена ошибка – указан лишний множитель в виде линейной скорости валков.

- В формуле (17) для определения продольного напряжения в межклетевом пространстве допущена ошибка - в заключительной части формулы отсутствуют скобки для отделения множителя.

- В работе не указан материал труб размером 325×8 мм, при прокатке которых приводятся результаты на рисунке 5.

### 3. Глава 3:

- Исследования формоизменения металла при продольной прокатки на оборудовании в условиях ОАО «РосНИТИ» осуществлялись с использованием модельного материала. К сожалению, автором не затронут вопрос удовлетворения критериев подобия и корректности использования данных лабораторных опытов на модельных образцах при расчёте параметров процесса прокатки труб в условиях ТПА.

- Из текста работы следует, что экспериментальный процесс прокатки осуществляется в 2 прохода, однако автором не приводятся геометрические параметры калибра второй клетки лабораторного стана. Также не освещён вопрос обеспечения точности позиционирования прокатанного после первого прохода образца для прокатки в калибре при втором проходе.

- Поскольку в процессе компьютерного моделирования используется закон трения по Зибелю, то коэффициент трения было бы корректно называть показателем трения.

- Автором не приводятся доказательства достоверности полученных уравнений регрессии, например, проверкой значимости коэффициента множественной корреляции. Представленный на страницах работы подробный расчёт значений уравнений регрессии является избыточным для данной работы и, считаю, мог бы быть опущен.

### 4. Глава 4:

- Единицы измерения усилия металла на валки «кН», представленные на рисунке «34», и указанные значения не соответствуют друг другу. По всей видимости, автором допущена ошибка и следовало указать «Н».

- Диапазон изменения отдельных параметров, используемый при проведении исследований их влияния на величину усилий и удельных натяжений, достаточно узок и, априори, не приведёт, к значительным изменениям. Однако большее изменение отдельных технологических параметров, например, температуры, скорости перемещения оправки, может привести к значительно большему изменению энергосиловых параметров.

- В формулах (56), (58) допущены ошибки, связанные с учетом знака «-» при раскрытии скобок: так перед  $\Delta B$  в формуле (56) и  $b_a$  в формуле (58) следует указать «+» (в тексте работы указан знак «-»).

- Линейная функция, представленная на рисунке 56, имеет вид  $y = -kx+b$ , однако соответствующее ей выражение (60) указано в ином виде  $y = kx-b$ .



### Заключение по диссертационной работе

Представленные замечания по рассмотренной диссертационной работе, часть которых носит дискуссионный характер, не снижают научную и практическую значимость, ценность основных положений и выводов, а также их достоверность. Диссертация, подготовленная Аль-Джумаили Мохаммедом Жасимом Мохаммедом, представляет законченную научно-квалификационную работу, которая выполнена на актуальную тему и решает важную задачу развития теории и практики прокатки труб в непрерывных станах с удерживаемой оправкой. Основные результаты доложены и обобщены на конференциях и конгрессах различного уровня, в том числе международных, опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ и индексируемых в БД Scopus. Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс в виде рекомендаций, применяемых при подготовке практических занятий и самостоятельной работы бакалавров и магистров ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)». Методика настройки и расчёта энергосиловых параметров процесса непрерывной раскатки гильз, реализованная в виде программного продукта, принята АО «СТЗ».

Диссертация представляет собой работу, в которой изложены научно-обоснованные решения, которые вносят вклад в развитие технологии производства бесшовных труб на агрегатах с непрерывным станом, используются в учебном процессе и полезны для специалистов действующих предприятий. Рассмотренная диссертация соответствует критериям ВАК РФ, изложенным в «Положении о присуждении ученых степеней», а ее автор, Аль-Джумаили Мохаммед Жасим Мохаммед, заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 – «Обработка металлов давлением».

Главный прокатчик – начальник Отдела  
Главного прокатчика Дирекции  
по технологии ПАО «ТМК», к.т.н.

И.И. Лубе

18.08.2020

Подпись Лубе И.И. заверяю:  
Начальник Управления по работе  
с персоналом ПАО «ТМК»



Г.Ф. Овсянникова

ФИО: Лубе Иван Игоревич

Почтовый адрес: 105062, г.Москва, ул.Покровка, д.40, стр.2А

Телефон: (495) 775-76-00 E-mail: LubeI@tmk-group.com