

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Шкуратова Евгения Александровича на тему «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»

### **Структура, объем 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.

**Во введении** обоснована актуальность и освещена степень разработанности тематики исследования, сформулирована цель работы, определены задачи исследования, раскрыта научная новизна и практическая значимость работы.

**В первой главе** представлены особенности оборудования и технологии прокатки в линии ТПА с непрерывным раскатным станом. Отмечены основные преимущества и недостатки. Автором особое внимание уделено опыту эксплуатации современных непрерывных раскатных станом с 3-валковыми клетями, установленных на территории России и за рубежом. Проведено исследование влияния калибровки валков и параметров процесса раскатки на качество труб. Рассмотрены основные виды калибров, а также принципы построения калибровки валков и расчёта режимов обжатий в чистовых клетях стана. Рассмотрены теоретические основы процесса непрерывной продольной прокатки труб. 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 величины овальности в чистовых калибрах с точки зрения выполнения условий первичного, вторичного захватов металла валками и при заполнении межклетевого промежутка с учетом отрицательного воздействия оправки на раскат. Проведенные автором теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать универсальную методику по определению оптимального сочетания величин овальности чистовых калибров непрерывного раскатного стана. Использование методики для проектирования прокатного инструмента способствует повышению точности раскатываемых труб и обеспечивает стабильное протекание процесса прокатки.

**В третьей главе** представлены результаты лабораторных исследований оптимальной системы калибров. Исследование формоизменения раската проведено 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. Автором научно обосновано, что прокатка труб в чистовых калибрах с оптимальной величиной овальности способствует повышению точности раската. Показано, что экспериментальные данные согласуются с теоретическими исследованиями, приведенными в работе автора.

**В четвертой главе** представлено опытно-промышленное исследование процесса раскатки гильз на непрерывном раскатном стане. Приведено 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. По результатам исследования, автором сделан вывод, что разработанная методика демонстрирует достаточно высокую сходимость при определении характера



формоизменения раската в зависимости от овальности чистовых калибров. Разработан программный продукт, позволяющий оперативно определять оптимальное сочетание величин овальности чистовых калибров и новая форма 3-валкового калибра, способствующие повышению точности горячекатаных труб.

После каждой главы и в целом по работе сделаны выводы.

### **Актуальность темы диссертации**

Диссертация Шкуратова Е.А. направлена на решение актуальной научно-технической проблемы совершенствования процесса раскатки труб (гильз) в линии трубопрокатного агрегата с непрерывным раскатным станом с 3-валковыми клетями и удерживаемой оправкой для обеспечения высокой точности геометрических параметров готовых труб и предотвращения образования разрывов на их наружной поверхности.

Актуальность темы обусловлена недостаточной степенью научного обоснования и проработки данного технологического процесса как в России, так и за рубежом. Режимы раскатки труб и параметры калибровки валков определяются частными конкретными решениями и рекомендациями, основанными на эмпирически полученных зависимостях, содержащих параметры, подлежащие определению при освоении технологического процесса или из производственного опыта эксплуатации непрерывного раскатного стана. Существующие методики и накопленный опыт проектирования калибров и расчета деформационно-скоростных режимов прокатки для станом с 2-валковыми клетями нельзя непосредственно применить для станом с 3-валковыми клетями. Исследование особенностей технологии продольной прокатки на непрерывных раскатных станах с 3-валковыми клетями и её совершенствование на базе решения оптимизационной задачи повышения точности труб по толщине стенки и обеспечения стабильного протекания процесса раскатки являются актуальными.

Сложность рассматриваемого в диссертации способа изготовления труб, высокие требования к качеству готовой продукции, расширение номенклатуры изделий, требования оперативности освоения процесса раскатки труб и снижения материальных затрат на его освоение в рыночных конкурентных условиях приводят к необходимости решения, поставленных в диссертационной работе задач.

### **Степень обоснованности положений выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Актуальность и постановка задач исследования обоснована детальным обзором отечественных и зарубежных литературных источников научно-технической информации и подробным анализом современного состояния и тенденций развития технологии, оборудования и особенностей раскатки полых заготовок на непрерывных раскатных станах продольной прокатки.

Сформулированные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации аргументированы и обоснованы:

- подробным анализом факторов, влияющих на точность размеров труб по толщине стенки и обеспечение стабильного протекания процесса раскатки;
- применением фундаментальных положений и методов теории обработки металлов давлением и статистических методов исследования;
- компьютерным моделированием процесса раскатки труб;
- большим комплексом экспериментальных лабораторных исследований, физического моделирования процесса раскатки труб и статистической обработки полученных результатов;
- положительными результатами технологических испытаний и испытаний в промышленных условиях.

### **Достоверность научных результатов**

Задача оптимизации процесса прокатки труб в чистовых клетях с 3-валковыми калибрами рассмотрена как задача математического



программирования с ограничениями. Алгоритм оптимизации поставленной оптимизационной задачи реализован с использованием известного метода математического программирования – метода Бокса-Уилсона.

Построение системы ограничений на управляющие параметры процесса прокатки труб основано на:

- ранжировании стадий осуществления захвата металла валками в чистовых калибрах, выявлении наиболее значимых определяющих их факторов;

- результатах компьютерного моделирования формы поперечного сечения раската в зависимости от управляющих параметров процесса;

- получении зависимостей характера формоизменения раската по результатам физического моделирования в условиях ОАО «РосНИТИ» на лабораторном прокатном стане.

Для определения характера формоизменения раската в зависимости от управляющих параметров процесса использован программный известный конечно элементный комплекс Deform-3D. Геометрические модели и анализ формоизменения раската осуществлен с использованием САД-системы твердотельного моделирования Компас-3D.

Достаточная точность результатов расчетов подтверждена данными опытно-промышленного исследования в условиях ТПЦ-1 ПАО «СТЗ».

Программный комплекс «Ovality2+» разработан и отлажен на базе современных средств программирования.

### **Новизна результатов работы**

К основным результатам диссертации, обладающей научной новизной, относятся следующие результаты:

- сформулирована и поставлена математически задача оптимизации по точности раската на выходе из последней клетки стана процесса прокатки труб в чистовых клетях с 3-валковыми калибрами;

- построена система ограничений на величины овальности чистовых калибров последней и предпоследней клетей стана, определяющие параметры процесса прокатки при фиксированных значениях параметров прокатки  $D/S$ ,  $\mu$ ,  $\epsilon$ . Система ограничений обеспечивает условия реализации первичного захвата, вторичного захвата, заполнение очага деформации при редуцировании толщины стенки раската, заполнение межклетевого промежутка и деформацию раската без разрушения материала;

- получены значения оптимального сочетания величины овальности калибров чистовых клетей, обеспечивающих получение труб с минимальным доверительным интервалом изменения толщины стенки;

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

- определена взаимосвязь между скоростью удержания оправки и условиями захвата металла валками в чистовых калибрах.

### **Практическая значимость**

Практическая значимость, подтвержденная соответствующими актами внедрения, заявками к патентованию и свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ, заключается:

- в разработанной новой системе калибров для чистовых клетей непрерывных раскатных станом, позволяющей повысить точность готовых труб по толщине стенки металлом на выходе из последней клетки стана и обеспечивающей безаварийные условия извлечения раската с оправки станом извлекателем, техническая новизна которой защищена заявками к патентованию в Евразийском патентном ведомстве;

- в разработанной методике расчета оптимальной калибровки валков чистовых клетей трехвалкового непрерывного раскатного стана;

- в разработанном программном комплексе «Ovality2+», позволяющем определять оптимальное сочетание величин овальности чистовых калибров,



обеспечивающих раскатку труб с повышенной точностью и идентифицировать характеристики требуемого раскатного стана;

- во внедрении методики расчета оптимальной калибровки валков чистовых 3-валковых клетей непрерывного раскатного стана и ее использовании при проектировании новой системы калибров ТПА со станом FQM в ПАО «СТЗ»;

- в использовании результатов диссертационной работы в учебных процессах в АО «Волжский трубный завод» и Южно-Уральском государственном университете.

### **Опубликование и апробация основных результатов исследований, представленных в диссертации**

Основное содержание диссертации опубликовано в 8 печатных работах, в том числе 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК России.

Технические решения защищены заявками к патентованию в Евразийском патентном ведомстве и свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Результаты исследований доложены и обсуждены на российских и международных научно-технических конференциях и семинарах.

По содержанию диссертации имеются следующие **замечания**.

1. Не приведено обоснование необходимости введения коэффициента Стюдента в принятом критерии оптимизации поставленной задачи (формула (2) на стр. 45). Тем более, что далее в расчетах он принят постоянным.

2. В постановке оптимизационной задачи в п.2.1 сформулированы критерий оптимизации и управляющие воздействия. Однако не сказано, что задача ставится для задаваемого априори набора параметров процесса прокатки:  $D/S$ ,  $\mu$ ,  $\varepsilon$ .

3. На рисунке 18 представлена ломаная линия, являющееся границей зоны стабильного процесса раскатки. Она построена по 4 точкам степени тонкостенности трубы  $D/S$ , имеющим значения 20; 24,7; 46,5 и 50. Однако экспериментальные данные, приведенные на рисунках 14 и 15, на основе

которых построена данная граница, получены для значений  $D/S=16,8$ ;  $24,7$  и  $46,5$ . В тексте диссертации не пояснено как получены граничные точки для  $D/S=20$  и  $50$ .

4. При описании алгоритма решения оптимизационной задачи в пункте 2.2.1 не пояснено почему шаг варьирования переменных в окрестности точки начального приближения принят  $0,01$ , в точке следующего приближения  $0,02$  (см. шаг 7). Не прописано, какой шаг варьирования принят для критерия останова при поиске минимума искомой функции. На стр. 95 из данных рисунка 26 утверждается, что «Для обеспечения стабильного заполнения межклетового промежутка ... величина овальности ... должна быть не менее  $1,035$ ». Следовательно, шаг варьирования должен быть как минимум  $0,005$ .

5. Параметры уравнения регрессии в окрестности точки варьирования определяются по значениям минимизируемой функции в 4 точках варьирования из решения системы линейных уравнений. При этом имеет место интерполяция функции. Такой подход очень чувствителен к погрешностям определения значения функции в этих точках. Поскольку значения функции известны в 5 точках, то следовало применить метод наименьших квадратов и получить действительно регрессионную зависимость.

6. В пункте 3.5 не ясно что такое «поле толщины стенки», тем более выраженное в процентах, и как оно рассчитывается. Под полем величины общепринято понимать распределённую по некоторым параметрам (координатам, времени и т.п.) сущность, а не скалярную величину.

Высказанные замечания имеют частный характер, не снижают научную и практическую значимость диссертационной работы и не влияют на ее положительную оценку.

### **Заключение**

Диссертационная работа Шкуратова Е. А. является законченной квалификационной научной работой, выполненной автором на актуальную тему, содержит новые научно обоснованные технические решения в области процесса продольной прокатки труб в чистовых 3-валковых клетях раскатных

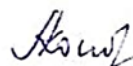


трубопрокатных станов, полученные на основе теоретического, компьютерного и физического исследования технологического процесса. Результаты научных исследований, выполненных автором, имеют теоретическую и практическую значимость. Предложенные технические решения внедрены на ПАО «СТЗ» и могут быть рекомендованы для более широкого внедрения на трубных заводах страны. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Материалы диссертации опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК России. Диссертация соответствует паспорту специальности 05.16.05 «Обработка металлов давлением» и отвечает критериям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор, Шкуратов Евгений Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 «Обработка металлов давлением».

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор, заведующий  
лабораторией ИМАШ УрО РАН

14 ноября 2017 г.



А.В. Коновалов

Коновалов Анатолий Владимирович: 620049, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук (ИМАШ УрО РАН), заведующий лабораторией механики деформаций, доктор технических наук, профессор. Тел. (343) 3753561, e-mail: avk@imach.uran.ru

Подпись официального оппонента д.т.н. А.В. Коновалова удостоверяю,  
Ученый секретарь ИМАШ УрО РАН, к.т.н.



А.М. Поволоцкая