

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу  
Евгения Владимировича Храмова «Повышение эффективности  
изготовления горячедеформированных труб на основе физического и  
математического моделирования процесса редуцирования»

### **Актуальность избранной темы**

Ежегодно в России добывается более 500 млн т нефти. Внутрискважинное оборудование для добычи нефти подвергается интенсивному воздействию агрессивных сред. В результате коррозии выходят из строя 220-230 тыс. т труб в год. В этой связи актуальной задачей является разработка технологии производства насосно-компрессорных труб из коррозионностойких марок сталей. На сегодняшний день основную массу горячедеформированных труб производят на трубопрокатных агрегатах с редуционно-растяжным станом (PPC). PPC обеспечивает существенное расширение сортамента получаемых труб и высокую производительность. Однако, при прокатке труб на редуционном стане не удается избежать формирования утолщённых концов, что приводит к увеличению объёма обрезки. Указанная проблема может быть решена только в ходе подробного изучения процесса редуцирования труб, требующего проведения теоретических исследований, компьютерного и физического моделирования, а также промышленных испытаний. Также следует отметить, что несмотря на полученные ведущими учеными в области обработки металлов давлением знания о процессе прокатки труб на PPC, теория редуцирования нуждается в развитии и совершенствовании. В этой связи диссертационная работа Е.В. Храмова, направленная на повышение эффективности изготовления горячедеформированных труб, является актуальной.

### **Структура работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов, изложена на 168 страницах машинописного текста, включающего 57

рисунков, 18 таблиц, список использованных источников из 117 наименований отечественных и зарубежных авторов, 5 приложений.

**Во введении** представлено обоснование актуальности темы диссертационной работы, показана степень разработанности темы исследования, сформулирована цель и задачи исследования, описана научная новизна, показана теоретическая и практическая значимость работы, представлены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** представлен критический обзор известных достижений и теоретических положений, разработанных такими авторитетными учеными, как А.А. Шевченко, В.П. Анисифоров, Г.И. Гуляев, В.Н. Выдрин, В.Л. Колмогоров, Г.Я. Гун, Ю.М. Матвеев, Н.Н. Дружинин, А.З. Глейберг, В.А. Юргеленас, П.Н. Ившин и др. по вопросам, связанным с созданием математической модели процесса редуцирования труб, изменением толщины стенки трубы при прокатке на редуционном стане, расчётом коэффициентов межклетевых натяжений, а также с влиянием различных параметров на формоизменение труб в процессе редуцирования. В главе рассмотрены недостатки существующей технологии получения горячедеформированных труб из сталей типа 13 Cr, описаны режимы высокотемпературной термомеханической обработки насосно-компрессорных труб. Приведена постановка задач исследования.

**Во второй главе** представлены оригинальные теоретические исследования процесса редуцирования труб в трёхвалковых калибрах. Разработана математическая модель очага деформации. Проведена оценка точности полученной модели с помощью программы Компас – 3D. Найдено поле скоростей, на основе которого определены компоненты тензора скорости деформации. На основе уравнения энергетического баланса найдена зависимость для расчёта коэффициента пластического натяжения. Из условия равновесия сил в очаге деформации определено контактное давление металла на поверхность вала. Найдено выражение для определения коэффициента пластического натяжения. Разработан алгоритм реализации полученной математической модели. В ходе

численного исследования математической модели проведен анализ влияния скоростного режима процесса редуцирования, толщины стенки трубы, коэффициента трения, а также марки стали на коэффициент пластического натяжения. Определено влияние марки стали и температуры на контактное давление на валки в клетях редуциционного стана. Проанализировано изменение температуры трубы при редуцировании.

**В третьей главе** представлены результаты экспериментальных исследований процесса редуцирования труб. На основе анализа микроструктуры стали и кривых упрочнения установлено, что в процессе редуцирования труб из стали марки 20Х13 при температуре от 850 до 1000 °С, скоростях деформации от 0,1 до 10 с<sup>-1</sup> и степени деформации до 80 % не происходит статической и динамической рекристаллизации, что является важным для получения требуемых механических свойств. На основе метода осадки цилиндрических образцов определён коэффициент трения на поверхности контакта трубы из стали марки 20Х13 с рабочим инструментом без смазки. Проанализированы различные режимы высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО). Установлено, что при ВТМО при температурах от 1000 до 850 °С и степени деформации равной 38% происходит повышение прочности и ударной вязкости труб из стали марки 20Х13, что обеспечивает требуемые механические свойства этих труб при эксплуатации при температуре от +20 до -60 °С. Определено, что высокие механические свойства упрочнённой стали марки 20Х13 достигаются при температуре отпуска 760 °С. Предложены режимы ВТМО для труб из стали марки 20Х13 группы прочности L80 в хладостойком исполнении в соответствии с ТУ 14-3Р-114-2011 в условиях АО «ВТЗ».

**В четвертой главе** представлено опытно-промышленное опробование результатов исследования. На основании анализа распределения межклетевых натяжений и механизма формирования утолщённого конца разработана методика расчёта скоростного режима редуцирования, обеспечивающая уменьшение длины утолщённых концов. Представлены результаты компьютерного моделирования,

подтверждающие уменьшение длины утолщённых концов труб при прокатке в редуционном стане по скоростным режимам, рассчитанным по разработанной методике. Автором разработана методика автоматизированного расчёта технологических параметров редуцирования, которая была реализована в программе для ЭВМ «EX-ram». Результаты опытно-промышленного опробования партии труб из стали марки 32Г2 с использованием разработанной методики автоматизированного расчёта показали, что может быть достигнуто уменьшение длины переднего утолщенного конца на 20%. Приведены результаты промышленного испытания партии насосно-компрессорных труб из стали 20Х13 наружным диаметром 73 мм и толщиной стенки 5,5 мм в соответствии с требованиями ТС 1082-2012. Е.В. Храмковым разработано техническое решение, направленное на повышение эффективности процесса редуцирования, которое заключается в редуцировании труб в стане с чередующимися приводными и не приводными клетями при различных условиях контактного трения в клетях с подачей смазочного материала на валки, при этом валки не приводных клеток выполнены меньшим диаметром.

### **Замечания к работе**

1. При нагреве сверленной заготовки на внутренней поверхности образуется окалина, в диссертации нет сведений к каким проблемам это приведёт при дальнейшем экспандировании и прессовании.
2. В работе не приводится анализа системы задания и контроля скоростной настройки редуционного стана «клин скоростей», обеспечивающей регулировку натяжения при редуцировании и уменьшение длины утолщённых концов.
3. В главе 2 выполнен расчет коэффициентов межклетевого натяжения по методикам В.П. Анисифорова, А.А., Шевченко и В.А. Юргеленаса, Г.И. Гуляева и П.Н. Ившина. Также установлено влияние толщины стенки, коэффициента трения и марки стали на коэффициент межклетевого натяжения. Однако нет сравнения результатов расчета коэффициента кинематического натяжения  $z_i$ , полученных по разработанной математической модели и по известным методикам. В этой связи

вывод автора о том, что результаты расчета  $z_i$  по разработанной модели и по известным методикам согласуются вызывает сомнение.

4. Не ясно, почему при численной проверке разработанной математической модели расчёт коэффициента межклетевого натяжения выполнялся не по полученному уравнению  $z_i = \frac{N_i}{\sigma_{si} \cdot F_i \cdot V_i}$  (65), для решения которого необходимо определить значения составляющих уравнения энергетического баланса для каждой клетки согласно схеме на рис. 21, а по выражению  $\frac{\sigma_i}{\sigma_s}$ . Кроме того, нет сведений о том, как выполнялся расчет сопротивления деформации  $\sigma_{si}$  и напряжения натяжения  $\sigma_i$ .

5. Чем можно объяснить, что согласно графику, представленному на рис. 22, по методике В.В. Швейкина и Г.Я. Гуна скорость выхода металла из клетки при прокатке с натяжением больше скорости выхода металла при прокатке без натяжения, а при расчете по разработанной автором математической модели наблюдается обратная зависимость.

6. При разработке математической модели очага деформации и методики расчета частоты оборотов валков по клетям РРС, не учитывается продольная и поперечная разностенность труб, а используется усреднённое значение толщины стенки.

7. При моделировании процесса прокатки в программе QForm-3D автор не приводит методику измерения толщины стенки трубы на переднем и заднем утолщенном концах, а также результаты измерений при новом и существующих режимах. Поэтому не возможно оценить точность результатов измерения толщины стенки труб, на основании которых делается вывод о том, что длина утолщённых концов уменьшается на 26 %. Кроме того, в описательной части постановки компьютерного моделирования нет сведений о количестве конечных элементов, на которые была разбита заготовка. Известно, что для получения достоверных результатов при компьютерном моделировании процесса прокатки труб по толщине стенки трубы должно укладываться минимум три элемента.

8. В ходе моделирования процесса прокатки в QForm-3D было установлено, что зафиксированные изменения температуры трубы имеют хорошую сходимость с результатами теоретического расчета. Однако, отсутствуют результаты теоретического расчета температурных полей. Нет также сравнительного анализа расчётных и экспериментальных данных о температурных полях.

9. В программе QForm-3D есть возможность дополнительно вводить данные о сопротивлении деформации и константах стали, если её нет в базе данных. В этой связи не ясно почему при компьютерном моделировании были использованы данные по стали 20, а не по стали марки 20X13.

10. Графики, представленные на рис. 53 и данные приложения Г не соответствуют друг другу. Также из графиков на рис. 53 не видно, что длина утолщённого кона по первому скоростному режиму равна 2400 мм.

11. Техническое решение автора использовать неприводные клетки не имеет промышленной апробации.

В целом высказанные замечания не затрагивают сущности и ценности, предложенных в работе технических и технологических решений и разработанных методик исследования.

### **Общее заключение по работе**

Диссертационная работа, подготовленная Е.В. Храмовым, представляет законченную научно-квалификационную работу, которая выполнена на актуальную тему и решает важную задачу повышения эффективности изготовления горячедеформированных труб из коррозионностойкой стали марки 20X13.

Результаты научных исследований, выполненных автором, имеют важное теоретическое и практическое значение. Их внедрение вносит значительный вклад в повышение эффективности производства бесшовных горячедеформированных

труб в России. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Диссертация Е.В. Храмкова соответствует паспорту специальности 05.16.05 – «Обработка металлов давлением».

Представленная диссертационная работа отвечает критериям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых к кандидатским диссертациям, а Евгений Владимирович Храмков заслуживает присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 – «Обработка металлов давлением».

Официальный оппонент

канд. техн. наук, доцент

20.04.2017

Д. А. Павлов

Павлов Дмитрий Андреевич

Кандидат технических наук, доцент

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Институт новых материалов и технологий, доцент кафедры «Обработка металлов давлением».

620002, Екатеринбург, Свердловская область, ул. Мира 19

тел. 89506597762

e-mail: d.a.pavlov@urfu.ru

Подпись  
заверяю



Начальник  
ОБЩЕГО ОТДЕЛА УДИОВ  
А.М. КОСАЧЕВА