

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЦ ТМК ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕСШОВНЫХ ТРУБ

А.А. Корсаков[✉], К.Ю. Яковлева, И.Н. Черных, Я.Е. Залавин, Д.В. Михалкин

ООО «Исследовательский центр ТМК», Челябинск, Россия

[✉] korsakov@rosniti.ru

Аннотация. В статье представлен краткий обзор достижений и результатов исследований отдела бесшовных труб ИЦ ТМК в области обработки металлов давлением по следующим основным направлениям: винтовая прокатка, продольная прокатка, волочение и прессование. Также показано, что, согласно современным тенденциям, на различных этапах работы проводится компьютерное конечно-элементное моделирование и цифровизация данных процессов. Большинство научных разработок внедряется в действующее и перспективное производство на российских трубопрокатных предприятиях, что позволяет повысить конкурентное преимущество отечественной трубной продукции, осваивать новые виды продукции и повышать технологический суверенитет страны.

Ключевые слова: Исследовательский центр ТМК, обработка металлов давлением, бесшовная труба, винтовая прокатка, продольная прокатка, волочение, прессование, компьютерное моделирование, горячая прокатка, холодная прокатка

Для цитирования: Основные направления исследований ИЦ ТМК при разработке технологий и оборудования для производства бесшовных труб / А.А. Корсаков, К.Ю. Яковлева, И.Н. Черных и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2024. Т. 24, № 3. С. 41–50. DOI: 10.14529/met240305

Original article
DOI: 10.14529/met240305

WORK AREAS OF THE TMK RESEARCH CENTER IN DEVELOPING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR THE PRODUCTION OF SEAMLESS PIPES

A.A. Korsakov[✉], K.Yu. Yakovleva, I.N. Chernykh, Ya. E. Zalavin, D.V. Mikhalkin

TMK Research, LLC, Chelyabinsk, Russia

[✉] korsakov@rosniti.ru

Abstract. This article presents an overview of the achievements of the Seamless Pipe Department of the TMK Research Center in the field of metal forming in the following areas: screw rolling, longitudinal rolling, drawing and pressing. Computer finite element modeling and digitalization of these processes is an integral part of the work. Most of the scientific developments are implemented in production at Russian pipe plants. This increases the competitive advantage and allows to master new types of pipe products and increase the technological sovereignty of the country.

Keywords: TMK Research Center, metal forming, pipe, screw rolling, longitudinal rolling, drawing, pressing, finite element computer modeling, hot rolling, cold rolling

For citation: Korsakov A.A., Yakovleva K.Yu., Chernykh I.N., Zalavin Ya.E., Mikhalkin D.V. Work areas of the TMK Research Center in developing technologies and equipment for the production of seamless pipes. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2024;24(3):41–50. (In Russ.) DOI: 10.14529/met240305

Существование современной промышленности немислимо без использования стальных бесшовных труб различного назначения. На первый взгляд может показаться, что бесшовная труба – это достаточно простое изделие, представляющее собой полый цилиндр. Подтверждается это тем, что современная бесшовная труба изобретена более 100 лет назад, когда немецкие инженеры братья Макс и Рейнхард Маннесман в 1885 г. прокатали сплошную цилиндрическую заготовку между двумя косо расположенными друг относительно друга и вращающимися в одну сторону валками и обнаружили, что в центральной зоне заготовки образуется сквозное отверстие. Данное явление получило название эффект Маннесмана и легло в основу процесса винтовой прошивки сплошных заготовок в полые гильзы. Благодаря этому изобретению стал возможен массовый выпуск стальных бесшовных труб. Данный процесс настолько впечатлил Томаса Эдисона (изобретателя фонографа, лампы накаливания и многого другого), что он назвал бесшовную трубу братьев Маннесман самым удивительным изобретением XIX века [1].

Переходя от исторических фактов к современным научно-теоретическим аспектам, можно утверждать, что на самом деле бесшовная труба – это сложный высокотехнологичный продукт, для производства которого применяется множество различных процессов обработки металлов давлением (ОМД). В настоящее время бесшовные трубы производят из множества различных марок сталей и сплавов с учетом их реологических свойств и особенностей деформации как в горячем, так и в холодном состоянии. Для изучения и развития процессов производства бесшовных труб создаются различные направления в науке [2, 3] и целые научно-исследовательские институты.

Так, в 1961 г. основан Уральский научно-исследовательский институт трубной промышленности (УралНИТИ), который в 2001 г. был переименован в Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности (РосНИТИ) и далее, в 2020 г., в Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности (РусНИТИ) уже в составе Трубной металлургической компании [4].

В начале 2023 г. научный кластер РусНИТИ поэтапно выведен в обособленное подразделение в г. Челябинске Исследовательского

центра ТМК (участника проекта «Сколково»), в котором отдел бесшовных труб продолжил заниматься вопросами разработки и совершенствования технологий и оборудования для производства бесшовных труб в рамках выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

По направлению бесшовных труб в Исследовательском центре ТМК выделено четыре лаборатории (винтовой прокатки, продольной прокатки, волочения и прессования, моделирования технологических процессов) и участок экспериментальных исследований процессов ОМД. Все подразделения работают в тесном взаимодействии между собой и с основными трубопрокатными предприятиями Российской Федерации, а область их научных исследований достаточно обширна.

Лаборатория винтовой прокатки занимается процессами прокатки как в двухвалковых (прошивных и риллинг-станах), так и трехвалковых (обжимных, раскатных и риллинг-) станах винтовой прокатки.

Основные цели: повышение эффективности производства бесшовных труб за счет совершенствования технологий винтовой прокатки и сокращение расхода металла путем повышения точности и качества продукции. Для достижения поставленных целей решаются следующие основные задачи:

- разработка рациональных схем и режимов деформации;
- повышение стойкости рабочего инструмента;
- снижение энергосиловых параметров при винтовой прокатке;
- разработка цифровых помощников для станов винтовой прокатки;
- освоение производства новых видов бесшовных труб.

Наиболее значимые исследования последних лет были посвящены снижению энергосиловых параметров при обжатии заготовок из нержавеющей марки стали на трехвалковых станах винтовой прокатки, в ходе которых была определена зависимость токовых нагрузок на привод стана от изменения различных технологических параметров процессов прокатки (рис. 1) [5, 6].

Также разработана технология получения гильз для промежуточных калибров непрерывного стана FQM, которая позволила повысить эффективность использования дорогостоящих длинномерных оправок [7].



Рис. 1. Зависимость токовых нагрузок на привод трехвалкового стана винтовой прокатки при обжати заготовок от изменения различных технологических параметров процессов прокатки на условную единицу
Fig. 1. Loading of the motor of a three-roll screw rolling mill during rolling of a billet with changes in various process parameters

Завершена серия работ на прошивных станах различных трубопрокатных агрегатов (ТПА), в каждой из которых было достигнуто повышение качества и точности гильз и труб [8–10].

В области повышения стойкости рабочего инструмента наиболее значимые результаты, достигнутые лабораторией винтовой прокатки, – это повышение стойкости оправок прошивных станов от 3 до 5 раз при прошивке заготовок из труднодеформируемых марок сталей [11–13].

Основная деятельность лаборатории продольной прокатки касается технологии горячей раскатки гильз в линии ТПА с использованием оправочных станов различного типа: непрерывных, автоматических (в том числе станов-тандем) и пилигримовых.

Одно из основных направлений исследований лаборатории связано с разработкой калибровок валков и систем калибров для двух- и трехвалковых непрерывных станов с целью решения различных задач, в частности: повышения эффективности использования парка диаметров оправок, улучшения качества труб, освоения нового сортамента [14].

Актуальные исследования касаются дорогостоящих оправок непрерывных станов продольной прокатки и проводятся с целью увеличения срока их службы, сокращения парка диаметров оправок и улучшения качества труб [15]. Новые решения в этой области ис-

следований [16] в настоящее время применяются на всех основных станах с удерживаемой оправкой: МРМ, PQF и FQM.

Еще одним важным направлением исследований лаборатории является изучение трансформации дефектов наружной поверхности исходных заготовок, которые позволяют определить причины и место возникновения дефектов в линии ТПА и разработать рекомендации по способам их устранения. Завершен цикл исследований для технологии ТПА-80 с непрерывным раскатным станом и ТПА-140 со станом-тандем [17, 18].

Обеспечение точности геометрических параметров и стабильности качества труб, получаемых по существующей технологии, а также при апробации новых технических решений невозможно без высокой конструктивной точности оборудования. По данному направлению специалистами лаборатории продольной прокатки разработаны новые методы осевой настройки и контроля технологической оси непрерывных станов, также нашедшие применение в заводских условиях [19, 20].

Лаборатория волочения и прессования совершенствует процессы как горячей деформации труб и трубных полуфабрикатов (прессование, ковка, штамповка, высадка), так и холодной деформации (волочение, прокатка на станах ХПТ и ХПТР).

Основным направлением деятельности является научно-технологическое сопровож-

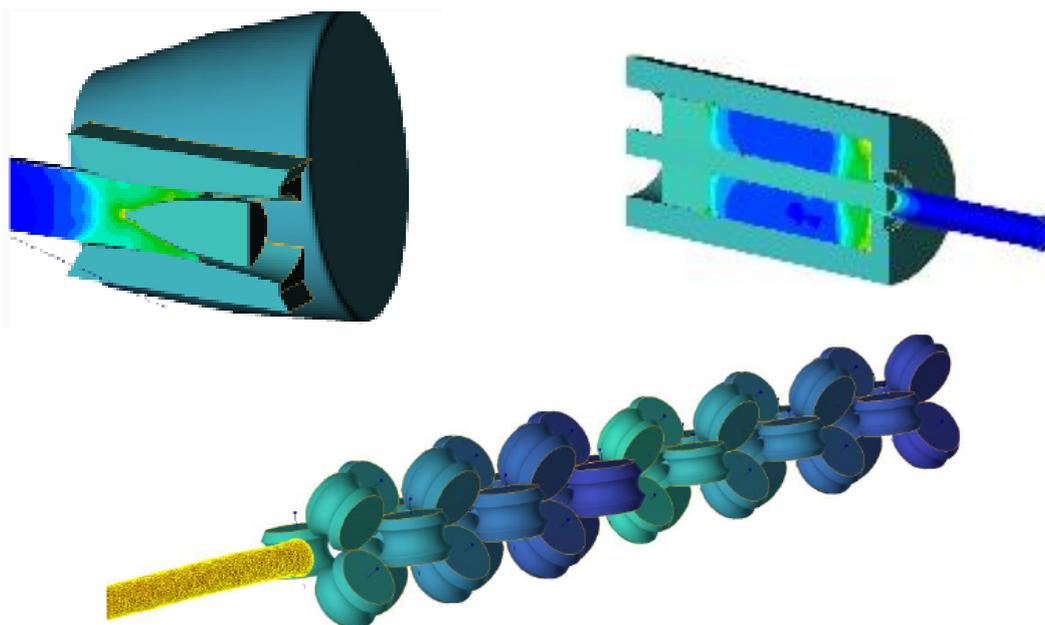


Рис. 2. Моделирование процессов прошивки на двухвалковом стане винтовой прокатки и на прессе, редуцирования на многоклетьевом стане продольной прокатки
Fig. 2. Computer simulation of piercing on a two-roll screw rolling mill; piercing on a press; rolling on a reducing mill

дение производства новых видов трубной продукции – горяче- и холоднодеформированных труб из специальных сталей и сплавов, применяемых в атомно-энергетическом комплексе РФ.

Примерами новых решений в направлении совершенствования процесса прессования труб являются следующие работы: внедрение режимов прессовой прошивки с целью минимизации дефектообразования [21], исследование условий эксплуатации прессового инструмента [22], разработка методики контроля параметров оребрения труб с внутренним винтовым оребрением [23].

Разработаны и внедрены решения, позволяющие снизить разностенность горячештампованных изделий и сократить РКМ при их производстве [24], завершаются работы по внедрению эффективных систем охлаждения штампового оборудования.

Определенной синергии межзаводской кооперации требуют задачи импортозамещения в технологии производства холоднодеформированных труб. Так, с 2015 г. успешно ведется работа по совершенствованию режимов холодной прокатки труб из хромоникелевого сплава ТМК-С: с высокой корреляцией определены зависимости влияния химического состава, толщины трубы, геометрических параметров очага деформации на уровень упрочнения данного сплава [25–27].

Лаборатория моделирования технологических процессов объединяет все направления исследований и обладает современными вычислительными комплексами и необходимым программным обеспечением для компьютерного моделирования различных процессов ОМД¹ (рис. 2) при выполнении как собственных научно-исследовательских работ, так и совместных с другими лабораториями работ, а также решает другие аналитические задачи, требующие проведения сложных расчетов.

Моделирование технологических процессов позволяет существенно сократить затраты на освоение новых видов продукции и совершенствование существующих технологий производства бесшовных труб.

Профильным направлением деятельности лаборатории является безоправочная непрерывная прокатка труб в калибровочных и редуцирующих станах, применяемых в нефтегазовом секторе и машиностроении [28–30].

Важным направлением деятельности отдела бесшовных труб является такое совре-

¹ Лаборатория является многолетним лицензированным пользователем российского программного комплекса для моделирования процессов ОМД «QFORM 3D». С помощью данного программного комплекса проводится моделирование процессов горячей и холодной прокатки труб, прессования труб и профилей, волочения, правки, штамповки отводов, эволюции микроструктуры и многих других.

менное направление, как цифровизация различных процессов ОМД с разработкой математических моделей и созданием собственных цифровых помощников различного уровня и программных продуктов [31–35].

Отдел также располагает уникальной лабораторно-технической базой для реализации физического моделирования изучаемых процессов [36, 37], которая включает три прокатных стана: двух- и трехвалковые станы винтовой прокатки и универсальный стан продольной прокатки, а также гидравлический пресс, вальцовочную машину, экспериментальную волочильную установку и комплекс специальной технологической оснастки, позволяющей при необходимости реализовать другие исследуемые процессы ОМД.

Подводя итог представленного в настоящей статье краткого обзора достижений и исследований отдела бесшовных труб ИЦ ТМК, стоит отметить, что большинство сотрудников и руководителей отдела являются выпу-

сками и/или аспирантами кафедры «Процессы и машины обработки металлов давлением» (ранее «Обработка металлов давлением») Южно-Уральского государственного университета, многие защитили на ней свои кандидатские диссертации. Поэтому все мы являемся последователями Уральской научной школы обработки металлов давлением, основы которой были заложены преподавателями нашей кафедры, и гордо несем звание металлургов-трубников, которое стремимся передать юному поколению.

От всего коллектива отдела бесшовных труб ИЦ ТМК поздравляем с юбилейной датой – 70-летием со дня основания – родную кафедру, желаем ей оставаться носителем уникальных знаний и лучших практик в прокатной отрасли, играя важнейшую роль в обеспечении российских предприятий высококвалифицированными кадрами.

Желаем коллегам продолжать задавать высокие стандарты высшей школы, успехов, творческой энергии и новых достижений!

Список литературы

1. Основы металловедения и технологии производства труб из коррозионно-стойких сталей / Д.А. Пумпянский, И.Ю. Пышминцев, А.В. Выдрин и др. – М.: Металлургиздат, 2023. 682 с.
2. Космацкий Я.И. Создание энерго- и металлосберегающих технологий и оборудования для производства гладкостенных и профильных горячепрессованных труб: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 2021. 32 с.
3. Красиков А.В. Теоретические основы новой технологии прокатки товарных труб специального назначения из коррозионно-стойких марок стали на агрегатах с непрерывными станами с контролируемо-перемещающей оправкой: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Челябинск, 2024. 38 с.
4. НИТИ времени: Институту трубной промышленности – 60 лет / ред. коллегия: И.Ю. Пышминцев и др. Екатеринбург: Станционный смотритель, 2021. 446 с.
5. Разработка калибровки валков трехвалкового раскатного стана Асселя, обеспечивающей уменьшение нагрузок на привод при обжати заготовок / Д.В. Михалкин, А.А. Корсаков, Е.В. Алютина и др. // Труды XXIII Международной научно-практической конференции «Трубы-2018». Сборник докладов / под ред. И.Ю. Пышминцева. Челябинск: ОАО «РосНИТИ», 2018. Ч. II. С. 63–69.
6. Разработка и реализация технологии обжати НЛЗ из нержавеющей марки стали аустенитного класса в стане Асселя / А.А. Корсаков, Д.В. Михалкин, А.Г. Ульянов, В.В. Байков // Труды XXIV Международной научно-практической конференции «Трубы-2021». Сборник докладов / под ред. И.Ю. Пышминцева. Челябинск: АО «РусНИТИ», 2021. Ч. II. С. 5–10.
7. Разработка технологии получения гильз для промежуточных калибров непрерывного стана FQM в рамках работы по повышению эффективности использования удерживаемых оправок / Я.А. Чемаева, А.А. Корсаков, Д.В. Михалкин и др. // Труды XXV Международной научно-практической конференции «Трубы-2023». Сборник докладов / под ред. И.Ю. Пышминцева. Челябинск: АО «РусНИТИ», 2023. Ч. II. С. 1–5.
8. Разработка мероприятий по снижению дефектов внутренней поверхности труб нефтяного сортамента / А.А. Корсаков, Д.В. Михалкин, Е.В. Алютина и др. // Труды XII Конгресса прокатчиков (том I). Сборник статей / под ред. С.А. Спирина, Т.Н. Думчевой. М.: Грин Принт, 2019. С. 102–107.

9. Совершенствование технологии прошивки с целью повышения качества и точности производимых труб / А.А. Корсаков, Д.В. Михалкин, Я.А. Кирилова и др. // Труды XXIV Международной научно-практической конференции «Трубы-2021». Сборник докладов / под ред. И.Ю. Пышминцева. Челябинск: АО «РусНИТИ», 2021. Ч. II. С. 11–14.

10. Разработка мероприятий на прошивном стане для повышения качества и точности труб, производимых на ТПА с автоматическим станом / Д.А. Балакин, А.А. Корсаков, Д.В. Михалкин и др. // Труды XXV Международной научно-практической конференции «Трубы-2023». Сборник докладов / под ред. И.Ю. Пышминцева. Челябинск: АО «РусНИТИ», 2023. Ч. II. С. 23–26.

11. Повышение стойкости оправок прошивного стана при производстве бесшовных труб из нержавеющей стали мартенситного класса марки типа 13Cr в линии ТПА 159-426 АО ВТЗ / И.И. Лубе, Н.В. Трутнев, С.В. Тумашев и др. // Черная металлургия. Бюллетень научнотехнической и экономической информации. 2020. Т. 76, № 12. С. 1259–1264. DOI: 10.32339/0135-5910-2020-12-1259-1264

12. Исследование износостойкости оправок при прошивке заготовок из стали 20X13 / А.А. Корсаков, Д.В. Михалкин, А.В. Красиков и др. // Прокатное производство. Приложение к журналу «Технология металлов». 2023. № 21. С. 1–8. DOI: 10.31044/1684-2499-2023-0-21-1-8

13. Патент 28071155 Российская Федерация, МПК В21В 25/00. Оправка стана винтовой прокатки для прошивки заготовок из легированных, высокохромистых и нержавеющей марок стали / Н.В. Трутнев, С.В. Тумашев, А.В. Красиков и др. Опубл. 09.11.2023, Бюл. № 31.

14. Совершенствование технологии прокатки труб на непрерывном раскатном стане с удерживаемой оправкой / Д.О. Струин, А.В. Выдрин, В.Г. Шеркунов и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2018. Т. 18, № 2. С. 72–80. DOI: 10.14529/met180209

15. Рациональное использование оправок раскатного стана / И.Н. Черных, А.Г. Ульянов, К.В. Трубников, А.В. Мальцев // Металлург. 2023. № 11. С. 114–117. DOI: 10.52351/00260827_2023_11_114

16. Патент RU 2707052 С1. Способ непрерывной прокатки труб и оправочный узел для его осуществления / А.А. Клачков, И.Ю. Пышминцев, А.В. Выдрин и др. № 2018134751; заявл. 10.05.2017; опубл. 21.11.2019.

17. Изучение трансформации дефектов поверхности при производстве труб в условиях ТПА-80 / И.Н. Черных, В.Л. Устьянцев, М.А. Литвинов, И.Н. Кривоногов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2019. Т. 19, № 4. С. 27–36. DOI: 10.14529/met190404

18. Комплексное исследование механизмов трансформации дефектов поверхности при прокатке труб в линии ТПА-140 / И.Н. Черных, Е.А. Гейм, И.Н. Кривоногов и др. // Сталь. 2022. № 7. С. 19–22.

19. Новое в контроле настройки оси прокатки непрерывного трубопрокатного стана / И.Н. Черных, Д.В. Лоханов, А.В. Никитин и др. // Черная металлургия. Бюллетень научнотехнической и экономической информации. 2016. № 4 (1396). С. 56–60.

20. Совершенствование осевой настройки оборудования стана FQM на основе бесконтактных измерительных 3D-систем / О.А. Панасенко, Е.А. Шкуратов, О.И. Белов и др. // Металлург. 2019. № 7. С. 26–29.

21. Исследование процесса прессовой прошивки заготовок и разработка технологических мероприятий по снижению дефектообразования в зоне срыва выпрессовки / Н.В. Фокин, Я.И. Космацкий, А.С. Тумашев, В.В. Байков // Черные металлы. 2023. № 12. С. 76–82.

22. Borisov M.V. Examining the durability of press tooling made of novel materials // Magnitogorsk Rolling Practice 2023: Proceedings of the VII International Youth Scientific and Technical Conference, Magnitogorsk, 30 мая – 03 июня 2023 года. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2023. С. 15–16.

23. Пересмотр технических требований к горячедеформированным трубам с внутренним винтовым оребрением / Б.В. Баричко, Н.В. Фокин, М.В. Борисов и др. // Сталь. 2024. № 6. С. 23–26.

24. Zakharov S.E. Enhanced accuracy of tool joint billets as a result of stamping process optimization // Magnitogorsk Rolling Practice 2023: Proceedings of the VII International Youth Scientific and Technical Conference, Magnitogorsk, 30 мая – 03 июня 2023 года. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2023. С. 125–126.

25. Патент 2620420 РФ, МПК В21 В 21/00, В 22 С 38/38. МПК В 21 В 21/00, В 22 С 38/38. Способ изготовления бесшовных холоднодеформированных высокопрочных труб из хромоникелевого сплава / И.Ю. Пышминцев, А.К. Беломестнов, Я.И. Космацкий и др. № 2016102465; заявл. 19.01.2016; опубл. 25.05.2017, Бюл. № 15. 6 с.
26. Результаты исследования свойств и режимов изготовления труб из сплава ТМК-С / К.Ю. Яковлева, Н.В. Фокин, Б.В. Баричко. Я.И. Космацкий // Черные металлы. 2021. № 12. С. 62–67. DOI: 10.17580/chm.2021.12.11
27. Совершенствование технологии производства насосно-компрессорных труб из сплава «ТМК-С» / Н.В. Фокин, Я.И. Космацкий, Б.В. Баричко, А.В. Красиков // Труды XXIII Международной научно-практической конференции «Трубы-2018». Сборник докладов / под ред. И.Ю. Пышминцева. Челябинск: ОАО «РосНИТИ», 2018. Ч. II. С. 121–124.
28. Investigation of forming of end parts in pipe tension reduction using QForm program / D.A. Akhmerov, A.V. Vydrin, E.V. Khramkov, D.Yu. Zvonarev // CIS Iron and Steel Review. 2022. Vol. 24. P. 35–40. DOI: 10.17580/cisirs.2022.02.06
29. Выдрин А.В., Храмов Е.В., Буняшин М.В. Энергетический баланс процесса прокатки труб нефтяного сортамента на редуционном стане // Металлург. 2016. № 1. С. 21–25.
30. Выдрин А.В., Храмов Е.В., Буняшин М.В. Кинематика очага деформации при безоправочной прокатке труб нефтяного сортамента // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2016. Т. 16, № 1. С. 91–97. DOI: 10.14529/met160113
31. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020617889 Российская Федерация. Reduction Motor Load / А.А. Корсаков, Д.В. Михалкин, Н.А. Заварцев и др. Дата регистрации: 15.07.2020 г.
32. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020663207 Российская Федерация. Kogx3 / А.А. Корсаков, Д.В. Михалкин, Н.А. Заварцев и др. Дата регистрации: 23.10.2020 г.
33. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023616835 Российская Федерация. Программа для расчета технологических и энергосиловых параметров процесса производства труб большого диаметра (ТЭСЦ Технолог) / Я.Е. Залавин, П.П. Титаренко, С.В. Пешеховский. № 2023614939. Дата регистрации: 03.04.2023 г.
34. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020662611 Российская Федерация. Программа для расчета геометрических параметров труб при моделировании в среде QForm / Д.Ю. Звонарев, М.А. Павлова, Д.А. Ахмеров, М.А. Зинченко. Дата регистрации: 16.10.2020 г.
35. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021663399 Российская Федерация. Программа для расчета и анализа технологических параметров процесса прокатки на основе физико-математических моделей / Е.А. Шкуратов, Е.В. Храмов, Д.С. Трунин и др. Дата регистрации: 16.08.2021 г.
36. Применение физического моделирования при исследовании процессов изготовления труб / Я.И. Космацкий, Н.В. Фокин, К.Ю. Яковлева и др. // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2021. Т. 77, № 3. С. 320–326. DOI: 10.32339/0135-5910-2021-3-320-326
37. Создание комплекса оборудования для исследования и моделирования процессов деформации труб / И.Ю. Пышминцев, А.В. Выдрин, Б.В. Баричко и др. // Труды XVII Международной научно-практической конференции «Трубы-2009». Сборник докладов. Челябинск: ОАО «РосНИТИ», 2009. С. 328–331.

References

1. Pumpysansky D.A., Pyshmintsev I.Yu., Vydrin A.V. et al. *Osnovy metallovedeniya i tekhnologii proizvodstva trub iz korrozionno-stoykikh staley* [Fundamentals of Metal Science and Technology for the Production of Pipes from Corrosion-Resistant Steels]. Moscow: Metallurgizdat; 2023. 682 p. (In Russ.)
2. Kosmatsky Ya.I. *Sozdanie energo- i metallosberegayushchikh tekhnologiy i oborudovaniya dlya proizvodstva gladkostennykh i profil'nykh goryachepressovannykh trub: avtoref. dis. d-ra tekhn. nauk* [Creation of Energy- and Metal-Saving Technologies and Equipment for the Production of Smooth-Walled and Profiled Hot-Pressed Pipes. Abstract of doct. diss.]. Moscow; 2021. 32 p. (In Russ.)

3. Krasikov A.V. *Teoreticheskie osnovy novoy tekhnologii prokatki tovarnykh trub spetsial'nogo naznacheniya iz korrozionno-stoykikh marok stali na agregatakh s nepreryvnymi stanami s kontroliruemoy peremeshchaemoy opravkoy: avtoref. dis. d-ra tekhn. nauk* [Theoretical Foundations of a New Technology for Rolling Special-Purpose Commercial Pipes from Corrosion-Resistant Steel Grades on Units with Continuous Mills with a Controllably Moveable Mandrel. Abstract of doct. diss.]. Chelyabinsk; 2024. 38 p. (In Russ.)

4. Pyshmintsev I.Yu. et al. (Eds.). *NITI vremeni: Institutu trubnoy promyshlennosti – 60 let* [NITI of time: The Institute of pipe industry is 60 years old]. Ekaterinburg: Stantsionnyy smotritel'; 2021. 446 p. (In Russ.)

5. Mikhalkin D.V., Korsakov A.A., Alyutina E.V. et al. Developing rolls calibration of Assel three-roll mill to decrease loads on drive during billets reduction. In: *Proceedings of the XXIII International scientific and practical conference "Pipes-2018". Collection of reports*. Edited by I.Yu. Pyshmintsev. Chelyabinsk: OJSC "RosNITI"; 2018. Part II. P. 63–69. (In Russ.)

6. Korsakov A., Mikhalkin D., Ulyanov A., Baikov V. Development and implementation of technology for reduction of continuously cast billets from stainless steel of austenitic class in the Assel mill using RML2020 software. In: *Proceedings of the XXIV International Scientific and Practical Conference "Pipes-2021". Collection of reports*. Edited by I.Yu. Pyshmintsev. Chelyabinsk: JSC "RusNITI"; 2021. Part II. P. 5–10. (In Russ.)

7. Chemaeva Ya.A., Korsakov A.A., Mikhalkin D.V. et al. Development of a technology for producing sleeves for intermediate calibers of a continuous FQM mill as part of the work to improve the efficiency of using retained mandrels. In: *Proceedings of the XXV International Scientific and Practical Conference "Pipes-2023". Collection of reports*. Edited by I.Yu. Pyshmintsev. Chelyabinsk: JSC "RusNITI"; 2023. Part II. P. 1–5. (In Russ.)

8. Korsakov A.A., Mikhalkin D.V., Alyutina E.V. et al. Development of measures to reduce defects in the internal surface of oil pipes. In: *Proceedings of the XII Congress of Rollers (Vol. I). Collection of articles*. Edited by S.A. Spirin, T.N. Dumcheva. Moscow: Green Print; 2019. P. 102–107. (In Russ.)

9. Korsakov A.A., Mikhalkin D.V., Kirilova Ya.A. et al. Development of the piercing technology in order to improve the quality and precision of produced pipes. In: *Proceedings of the XXIV International Scientific and Practical Conference "Pipes-2021". Collection of reports*. Edited by I.Yu. Pyshmintsev. Chelyabinsk: JSC "RusNITI"; 2021. Part II. P. 11–14. (In Russ.)

10. Balakin D.A., Korsakov A.A., Mikhalkin D.V. et al. Development of measures on a piercing mill to improve the quality and accuracy of pipes produced on a TPA with an automatic mill. In: *Proceedings of the XXV International Scientific and Practical Conference "Pipes-2023". Collection of reports*. Edited by I.Yu. Pyshmintsev. Chelyabinsk: JSC "RusNITI"; 2023. Part II. P. 23–26. (In Russ.)

11. Lube I.I., Trutnev N.V., Tumashev S.V. et al. Increase of resistance of piercing mill mandrels at seamless pipes production of 13Cr grade martensite class stainless steel at line ТПА159-426 of JSC VTZ. *Ferrous metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 2020; 76(12):1259–1264. (In Russ.) DOI: 10.32339/0135-5910-2020-12-1259-1264

12. Korsakov A.A., Mikhalkin D.V., Krasikov A.V. et al. Study of wear resistance of mandrels when piercing workpieces made of steel 20X. *Rolling production. Supplement to the journal "Metal technology"*. 2023. № 21. С. 1–8. (In Russ.) DOI: 10.31044/1684-2499-2023-0-21-1-8

13. Trutnev N.V., Tumashev S.V., Krasikov A.V. et al. *Screw rolling mill mandrel for piercing blanks made of alloy, high-chromium and stainless steel grades*. Patent RF, no. 28071155, 2023. (In Russ.)

14. Struin D.O., Vydrin A.V., Sherkunov V.G., Shkuratov E.A., Chernyh I.N., Sarafanova O.E., Mishin S.N. Development of Pipe Rolling Technology for Continuous Rolling Mill with Retained Mandrel. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2018;18(2):72–80. (In Russ.) DOI: 10.14529/met180209

15. Chernykh I.N., Ulyanov A.G., Trubnikov K.V. et al. Rational use of rolling mill mandrels. *Metalurgist*. 2024;67:1731–1736. DOI: 10.1007/s11015-024-01668-8

16. Klachkov A.A., Pyshmintsev I.Yu., Vydrin A.V. et al. *Method of continuous pipe rolling and mandrel unit for its implementation*. Patent RU 2707052 C1, 2019.

17. Chernykh I.N., Ust'yantsev V.L., Litvinov M.A., Krivonogov I.N. Study of Surface Defect Transformations during Pipe Manufacturing Using PRP-80. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2019;19(4):27–36. (In Russ.) DOI: 10.14529/met190404

18. Chernykh, I.N., Geim, E.A., Krivonogov, I.N. et al. Integrated Study of Transformation Mechanisms of Surface Defects during Rolling of Pipes in TPA-140 Pipe Rolling Mill. *Steel Transl.* 2022;52:690–693. DOI: 10.3103/S0967091222070051

19. Chernykh I.N., Lokhanov D.V., Nikitin A.V. et al. New features in continuous pipe mill rolling axis adjustment control. *Ferrous metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information.* 2016;4(1396):56–60. (In Russ.)

20. Panasenko O.A., Shkuratov E.A., Belov O.I. et al. Improvement of the Axial Adjustment of the Equipment of Fine Quality Mill on the Basis of Contactless Measuring 3D Systems. *Metallurgist.* 2019;63:690–694. DOI: 10.1007/s11015-019-00878-9

21. Fokin N.V., Kosmatsky Ya.I., Tumashev A.S., Baykov V.V. Study of the process of press piercing of blanks and development of technological measures to reduce defect formation in the zone of pressing failure. *Chernye metally.* 2023;(12):76–82. (In Russ.)

22. Borisov M.V. Examining the durability of press tooling made of novel materials. In: *Magnitogorsk Rolling Practice 2023: Proceedings of the VII International Youth Scientific and Technical Conference, Magnitogorsk, May 30 – June 03, 2023.* Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University; 2023. P. 15–16.

23. Barichko B.V., Fokin N.V., Borisov M.V. et al. Revision of technical requirements for hot-deformed tubes with internal helical finning. *Steel.* 2024;(6):23–26. (In Russ.)

24. Zakharov S.E. Enhanced accuracy of tool joint billets as a result of stamping process optimization. In: *Magnitogorsk Rolling Practice 2023: Proceedings of the VII International Youth Scientific and Technical Conference, Magnitogorsk, May 30 – June 03, 2023.* Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University; 2023. P. 125–126.

25. Pyshmintsev I.Yu., Belomestnov A.K., Kosmatsky Ya.I. et al. *Method for manufacturing seamless cold-formed high-strength pipes from chromium-nickel alloy.* Patent RF, no. 2620420, 2017. (In Russ.)

26. Yakovleva K.Yu., Fokin N.V., Barichko B.V., Kosmatskiy Ya.I. Results of studying the properties and modes of manufacturing pipes from TMK-S alloy. *Chernye metally.* 2021;(12):62–67. (In Russ.) DOI: 10.17580/chm.2021.12.11

27. Fokin N., Kosmatskiy Ya., Barichko B., Krasikov A. Improving production technology of tubing made from TMK-S alloy. In: *Proceedings of the XXIII International scientific and practical conference “Pipes-2018”. Collection of reports.* Edited by I.Yu. Pyshmintsev. Chelyabinsk: OJSC “RosNITP”; 2018. Part II. P. 121–124. (In Russ.)

28. Akhmerov D.A., Vydrin A.V., Khramkov E.V., Zvonarev D.Yu. Investigation of forming of end parts in pipe tension reduction using QForm program. *CIS Iron and Steel Review.* 2022;24:35–40. DOI: 10.17580/cisirs.2022.02.06

29. Vydrin A.V., Khramkov E.V., Bunyashin M.V. Energy Balance in the Rolling of OCTG on a Stretch-Reducing Mill. *Metallurgist.* 2016;60:12–18. DOI: 10.1007/s11015-016-0246-2

30. Vydrin A.V., Khramkov E.V., Bunyashin M.V. Kinematics of the Deformation Zone in Plugless Rolling of Oil Pipes. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy.* 2016;16(1):91–97. (In Russ.) DOI: 10.14529/met160113

31. Korsakov A.A., Mikhalkin D.V., Zavartsev N.A. et al. *Reduction Motor Load.* Certificate of state registration of the computer program RF, no. 2020617889. Date of registration: 15.07.2020. (In Russ.)

32. Korsakov A.A., Mikhalkin D.V., Zavartsev N.A. et al. *Korx3.* Certificate of state registration of the computer program RF, no. 2020663207. Date of registration: 23.10.2020. (In Russ.)

33. Zalavin Ya.E., Titarenko P.P., Peshekhovskiy S.V. *Program for calculating technological and power parameters of the process of large-diameter pipes production (TESC Technolog).* Certificate of state registration of the computer program RF, no. 2023616835. Date of registration: 03.04.2023. (In Russ.)

34. Zvonarev D.Yu., Pavlova M.A., Akhmerov D.A., Zinchenko M.A. *Program for calculating geometric parameters of pipes during modeling in the QForm environment.* Certificate of state registration of the computer program RF, no. 2020662611. Date of registration: 16.10.2020. (In Russ.)

35. E.A. Shkuratov, E.V. Khramkov, D.S. Trunin et al. *Program for calculating and analyzing technological parameters of the rolling process based on physical and mathematical models.* Certificate of state registration of the computer program RF, no. 2021663399. Date of registration: 16.08.2021. (In Russ.)

36. Kosmatskii Ya.I., Yakovleva K.Yu., Fokin N.V., Nikolenko V.D., Barichko B.V. Application of physical simulation at study of pipe production processes. *Ferrous metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 2021;77(3):320–326. (In Russ.) DOI: 10.32339/0135-5910-2021-3-320-326

37. Pyshmintsev I.Yu., Vydrin A.V., Barichko B.V. et al. Creation of an equipment complex for studying and modeling pipe deformation processes. In: *Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference "Pipes-2009". Collection of reports*. Chelyabinsk: OJSC "RosNITI"; 2009. P. 328–331. (In Russ.)

Информация об авторах

Корсаков Андрей Александрович, канд. техн. наук, начальник отдела бесшовных труб, ООО «Исследовательский центр ТМК», Челябинск, Россия; korsakov@rosniti.ru.

Яковлева Ксения Юрьевна, канд. техн. наук, заведующий лабораторией волочения и пресования, ООО «Исследовательский центр ТМК», Челябинск, Россия.

Черных Иван Николаевич, заведующий лабораторией продольной прокатки, ООО «Исследовательский центр ТМК», Челябинск, Россия.

Залавин Яков Евгеньевич, канд. техн. наук, заведующий лабораторией моделирования технологических процессов, ООО «Исследовательский центр ТМК», Челябинск, Россия.

Михалкин Дмитрий Владимирович, заведующий лабораторией винтовой прокатки, ООО «Исследовательский центр ТМК», Челябинск, Россия.

Information about the authors

Andrey A. Korsakov, Cand. Sci. (Eng.), Head of Seamless Pipe Department, TMK Research, LLC, Chelyabinsk, Russia; korsakov@rosniti.ru.

Ksenia Yu. Yakovleva, Cand. Sci. (Eng.), Head of Drawing and Pressing Laboratory, TMK Research, LLC, Chelyabinsk, Russia.

Ivan N. Chernykh, Head of Longitudinal Rolling Laboratory, TMK Research, LLC, Chelyabinsk, Russia.

Yakov E. Zalavin, Cand. Sci. (Eng.), Head of Technological Process Modeling Laboratory, TMK Research, LLC, Chelyabinsk, Russia.

Dmitry V. Mikhalkin, Head of Screw Rolling Laboratory, TMK Research, LLC, Chelyabinsk, Russia.

Статья поступила в редакцию 05.07.2024

The article was submitted 05.07.2024