

621.777

Терещенко А.А., Дехтярев В.С., Фролов Я.В.

## ПАРАМЕТРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТРУБ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Отражены аспекты взаимодействия параметров технологического элемента «холодная (теплая) пильгерная прокатка» при производстве труб из высоколегированных сталей для энергетического машиностроения.

Відображені аспекти взаємодії параметрів технологічного елементу «холодна (тепла) пильгерна прокатка при виробництві труб з високолегованих сталей для енергетичного машинобудування.

The aspects of interaction of parameters of the technological element “cold (warm) pilger rolling” while manufacturing tubes from high-alloy steels for energetic machine-building had been presented.

### Введение

Конкурентная борьба на рынке дорогостоящих труб ответственного назначения из высоколегированных сталей требует от производителей особого подхода к реализации программ качества. Непрерывное повышение требований к качеству этих видов труб обусловлено стремлением к повышению надежности аппаратов, устройств и машин, где такие трубы используются. Наряду со специфическими требованиями к каждому виду труб, такими как высокая точность размеров, гарантированные механические и коррозионные свойства, шероховатость поверхностей, основным общим требованием является стабильность показателей качества, как минимум, в пределах партии, при минимальных отклонениях от номинальной величины каждого из показателей качества.

Это требование не может быть выполнено в полной мере при пакетной организации производства при большом количестве технологических операций, многие из которых выполняются вручную со значительным разрывом во времени. Кроме того, фактором, осложняющим выполнение этого требования, является то, что большинство сталей, из которых производятся трубы для энергетического машиностроения, считаются труднодеформируемыми.

**Анализ параметров технологического элемента.** Выстраивание технологических операций в линию в последовательности, предусмотренной технологией, должно обеспечить необходимые одинаковые условия обработки каждой трубы при условии обеспечения жест-

кого контролю над выполнением каждой операции. Задача облегчается тем, что большинство технологических операций выполняется в одну нитку, поштучно (прокатка, очистка, правка, контроль) [1].

Решение задачи построения эффективной технологической линии производства прецизионных труб заключается в пошаговом определении оптимальных параметров каждой операции от получения заготовки до контроля качества готовых труб.

Настоящая работа посвящена определению параметров одного из основных технологических элементов поточной линии производства прецизионных труб – холодной (теплой) прокатке труб, которые в основном формируют потребительские качества готовых труб: точность геометрических размеров, механические свойства труб, разнотекучность структуры, стойкость к межкристаллитной коррозии, качество внутренней и наружной поверхности.

В настоящее время в научной литературе и производстве встречаются решения, направленные на улучшение перечисленных потребительских качеств готовых труб средствами воздействия на отдельные технологические элементы [2, 3, 4]. Однако до сих пор нет данных по комплексному влиянию параметров этих технологических элементов на конечные свойства труб и эффективность технологии в целом.

Заготовка для холодной (теплой) пильгерной прокатки при производстве труб для энергетического машиностроения может быть получена способом горячего прессования на ТПА 350 с горизонтальным гидравлическим прессом. Перед прокаткой заготовка подвергается обточке, расточке и термической обработке – отжигу с целью снятия внутренних напряжений, полученных в результате механической обработки и уменьшения среднего размера зерна.

**Холодная и теплая пильгерная прокатка.** При производстве труб для энергетического машиностроения применяются высоколегированные стали, которые показывают значительное снижение текучести и увеличение относительного удлинения при обработке в диапазоне начальных температур прокатки 150...250°C. Этот факт делает эффективным применение способа теплой прокатки. Основное преимущество этого способа заключается в том, что он позволяет не только снизить силу прокатки для экономии ресурсов, но и «прощает» наличие значительных растягивающих напряжений в очаге деформации. Способ теплой прокатки реализуется на станах типа ХПТ путем нагрева трубы-заготовки индуктором непосредственно перед

задачей в зону деформации и позволяет достигать значений степени деформации металла за проход в 70...80%.

Температура нагрева металла перед прокаткой зависит от марки стали и оказывает влияние не только на свойства прокатываемого металла, но и на распределение частных деформаций по длине суммарного очага деформации (рабочего конуса). Так например, при прокатке на стане ХПТ 90 по маршруту 93×11,5→57×6,5 мм; подача – 8

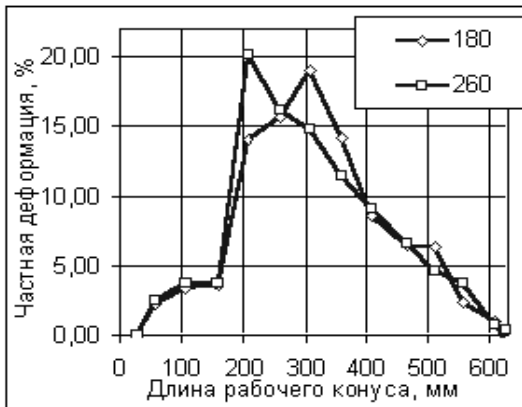


Рисунок 1 – Распределение частных деформаций по длине рабочего конуса. «180» - температура нагрева металла перед прокаткой - 180°C; «260» - температура нагрева металла перед прокаткой - 260°C

мируемого материала, которое, в свою очередь зависит от температуры подогрева заготовки. На рис. 1 представлены графики изменения частной деформации, определенной как отношения площадей поперечного сечения последующего и предыдущего сечений по длине рабочего конуса.

Перераспределение обжатий из-за уменьшения температуры нагрева металла приводит к тому, что на последующих участках рабочего конуса геометрические размеры инструмента вызывают дополнительную деформацию металла, недообжатого в предыдущих участках из-за увеличения зазора между валками. В связи с тем, что абсолютное значение силы прокатки по мере приближения к калибрующему участку снижается, такая дополнительная деформация не вызывает существенной упругой деформации системы «клеть-валки-металлоплавка» и позволяет получить удовлетворительные размеры поперечного сечения трубы.

мм; марка стали - 08X18H10T установлено, что при уменьшении температуры подогрева заготовки с 260 до 180°C максимальная вертикальная сила прокатки увеличивается на 18% (с 563 до 664 кН). Для данного маршрута сила при холодной деформации сила прокатки составила бы 800...850 кН в зависимости от условий охлаждения рабочего конуса. Поскольку величина упругой деформации системы «клеть-валки-металлоплавка» является функцией силы прокатки, фактическое распределение обжатий по длине рабочего конуса, изменяется в зависимости от напряжения текучести деформируемого материала,

Классическая холодная прокатка при производстве труб для энергетического машиностроения применяется на последних проходах для получения конечного размера труб. Степень деформации при этом ограничена силовыми условиями процесса и пластичностью металла и не превышает 35...55%. Основной задачей последних проходов прокатки является получение необходимых геометрических размеров и качества поверхности труб. Решение этой задачи требует использования эффективных технологических смазок, приспособленных к работе в очаге деформации при пильгерной прокатке. Эти смазки должны обеспечивать необходимую чистоту поверхностей, повышать износостойкость инструмента, снижать затраты энергии на прокатку, а также легко удаляться как с наружной, так и с внутренней поверхностей трубы [1, 5, 6]. Современная технологическая смазка представляет собой сложную композицию на основе продуктов минерального или синтетического происхождения (минеральное или синтетическое масло, хлорированный парафин и др.) с различными противозадирными, моющими и другими присадками. В зависимости от вида прокатываемого металла и его свойств, а также требований к качеству прокатываемых труб, СОЖ иногда можно использовать и в качестве смазки, подавая ее через стержень на оправку. Высокие степени деформации и быстроходность станов приводит к увеличению температуры металла в зоне деформации до уровня 300...500°C даже без предварительного нагрева заготовки. Таким образом, интенсивные режимы деформации при пильгерной прокатке труб на современных станах типа ХПТ не являются холодной прокаткой, даже если отсутствует предварительный нагрев заготовки перед задачей в стан. При таких режимах деформации достижение температур теплой деформации происходит за счет тепла формоизменения и трения без предварительного нагрева заготовки.

Сочетание разогрева металла, как за счет предварительного нагрева, так и за счет тепла формоизменения и трения с применением эффективных смазочно-охлаждающих жидкостей и способов их подачи, позволяет удерживать температуру рабочего конуса в узком интервале, соответствующем минимальной интенсивности упрочнения для каждого прокатываемого материала.

Удачным примером сочетания преимуществ теплой и холодной прокатки может служить маршрут прокатки труб из стали 03X17H14M3 для конденсаторов паровых турбин АЭС 89x8,5 – 25x0,7 мм, реализованный за 4 прохода (2 теплой прокаткой и 2 – холодной). Готовые трубы, прокатанные по этому маршруту имеют

100% стойкость к межкристаллитной коррозии, предел прочности при 20°C – 547...555 МПа, относительное удлинение – 54...55%, разнородность – 2 балла. Чистота поверхности по критерию составила: Ra – 0,45...0,65 для наружной и 0,15...0,35 для внутренней поверхности.

#### **Распределение частных деформаций по длине рабочего конуса.**

Распределение частных деформаций по длине рабочего конуса в пределах маршрута прокатки определяется профилем ручья и оправки – калибровкой инструмента. В отечественной и зарубежной практике принято описывать закон распределения обжатий по длине рабочей части ручья аналитическими и эмпирическими зависимостями различного вида. Сегодня на производстве используются два типа калибровок инструмента – типа МИСиС с криволинейной продольной образующей гребня ручья и линейно-конусной оправкой и типа КПО – с криволинейной образующей, описываемой степенной функцией с показателем степени, одинаковым для ручья калибров и оправки. Применение калибровки типа КПО позволяет добиться высокой точности геометрических размеров труб при достаточно высокой степени деформации и производительности стана. Это обусловлено минимальной (0,003...0,005) конусностью ручья и оправки в зоне калибрования, а также отсутствием протяженной зоны редуцирования, что благоприятно влияет на ресурс пластичности прокатываемого металла. Однако изготовление и эксплуатация инструмента с использованием принципа КПО вызывает дополнительные сложности, которые в условиях производства целесообразно преодолевать при необходимости прокатки более 100 метров труб в час и степени деформации более 50% способом холодной прокатки.

Калибровка инструмента как самостоятельно, так и в совокупности с другими параметрами технологии, определяет такие качественные характеристики готовых труб как точность геометрических размеров и отсутствие на внутренней и наружных поверхностях рисок, раковин, закатов и других прокатных дефектов. Кроме того, важной задачей калибровки инструмента при прокатке труб для энергетического машиностроения является обеспечение проработанной деформационной структуры и уменьшение разнородности, которая является наследственным признаком горячей деформации на прессе.

Известные подходы к решению задачи определения продольной и поперечной формы калибров станов типа ХПТ подразумевают раздельное определение продольной формы ручья, имеющей в качестве образующей определенный закон изменения интенсивности обжатий

по длине рабочего конуса и поперечной, определяемой в основном требованием заполнению калибров, круглости поперечного сечения и состояния поверхности готовой трубы [7].

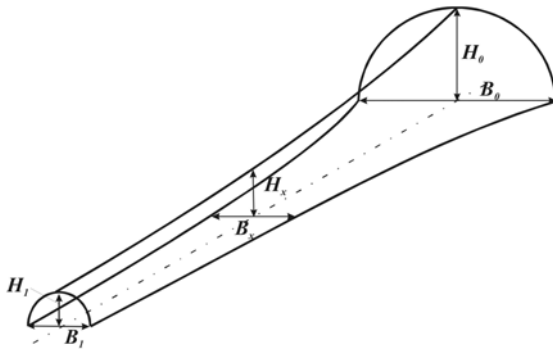


Рисунок 2 – Существующий способ проектирования поперечного профиля калибра

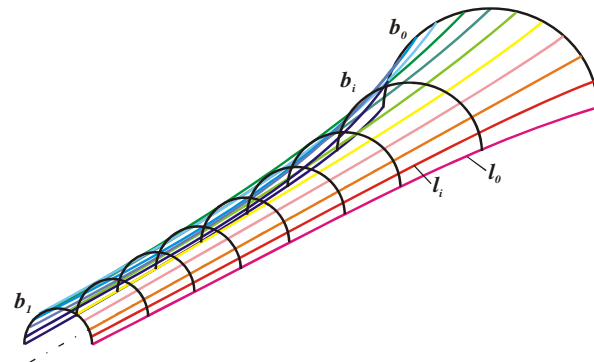


Рисунок 3 – Метод формирования рабочей части ручья калибра

Существующие методы расчета формы рабочей поверхности калибров и оправки для станов ХПТ основаны на определении формы продольных образующих ручья по максимальной глубине калибра (гребню) и по его ширине (выпускам) в контрольных сечениях (рис. 2). Т.е. поперечный профиль в каждом поперечном сечении калибра определяется лишь тремя точками и одним или несколькими углами. При этом по длине рабочей части ручья поперечный профиль остается постоянным.

Формирование профиля поперечного сечения производится исходя из:

- количества металла, приходящего в  $i$ -е сечение из предыдущего;
- расстояния до начала калибрующей зоны;
- отношения диаметра к толщине стенки рабочего конуса в данном сечении;
- изменения текущих механических характеристик металла в процессе деформации.

Сегодня принципиально новым подходом к проектированию формы калибра стана ХПТ является рассмотрение его как цельной поверхности – последовательности по ходу прокатки поперечных профилей (рис. 3).

Для реализации этого подхода необходимо определить координаты каждой точки рабочей поверхности. Т.к. форма калибра стана ХПТ является сложной поверхностью, образованной несколькими кривыми линиями, то описание ее единым уравнением является не-

возможным. Для решения поставленной задачи, рабочую часть калибра должна быть представлена в виде совокупности функций, составляющих эту поверхность. Конечным результатом решения совокупности функций является координатная сетка с частотой ячеек, определяемой возможностями оборудования для обработки калибра.

Такой подход в полной мере можно реализовать, только используя современные пятикоординатные станки для шлифовки калибров.

О перспективности нового подхода к формированию профиля ручья можно судить по результатам эксперимента, при котором использовались калибры с переменным по длине рабочего конуса типом поперечного профиля. В начале рабочей части ручья использовался овальный калибр, затем калибр с выпусками по радиусу и в конце – круглый калибр с выпусками по касательной. Это не является полной реализацией предложенного подхода, а только позволяет оценить важность изменения представления о принципах формирования поперечного профиля ручья калибров. Суть эксперимента заключалась в сравнении симметричной разностенности при прокатке по используемой калибровке и калибровке с переменным по длине рабочего конуса типом поперечного сечения (рис. 5). Профиль гребня ручья калибров и продольная образующая оправки в обоих случаях выполнены по принципу калибровки типа КПО.

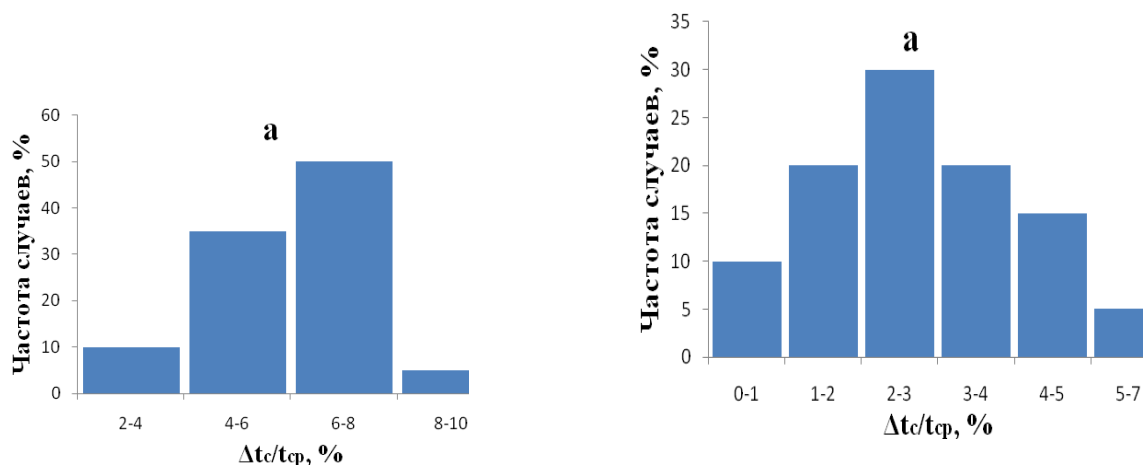


Рисунок 5 – Гистограммы распределения симметричной разностенности в партии труб, прокатанных на стане ХПТ 55: *а* – поперечный профиль по действующей калибровке; *б* – переменный тип поперечного профиля

### Выводы

Для конкурентоспособного производства прецизионных труб из высоколегированных сталей необходимо применять специальные режимы деформации. Эти режимы деформации должны быть определены с учетом комплексного подхода ко всем технологическим элемен-

там. Такой комплексный подход может быть реализован в поточной линии производства труб для энергетического машиностроения. В представленной работе отражены аспекты взаимодействия параметров технологического элемента «холодная (теплая) пильгерная прокатка».

Установлено, что на распределение частных деформаций по длине рабочего конуса помимо расчетной калибровки инструмента существенное влияние оказывают прочностные свойства металла в очаге деформации, определяемые температурой подогрева перед прокаткой.

При реализации способа холодной прокатки ключевую роль в обеспечении потребительских качеств готовых труб играют характеристики технологической смазки.

Установлено, что для повышения качества труб по геометрическим размерам и уменьшения количества брака по этому параметру необходимо использовать новый подход к проектированию поперечного профиля ручья калибров, заключающийся в применении переменной по длине рабочего конуса формы поперечного сечения ручья калибров при сохранении принципов калибровки типа КПО.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов В.Ф., Данченко В.Н., Фролов Я.В. Холодная пильгерная прокатка труб. – 2005.
2. Пат. №26279U Україна, бюл. № 14 МПК В21С 23/00. Спосіб виготовлення безшовних труб з мартенситно-феритної сталі / Терещенко А.А., Куценко М.О., Чекмарьов В.В., Винокуров М.В., Ковбаса І.Г. та інш.
3. Терещенко А.А., Кекух С.Н., Головченко А.П.. Усовершенствование способа прокатки на станах ХПТ с подачей и поворотом в обоих крайних положениях клетки. // Металлургическая и горнорудная промышленность – 2007. – № 4. – С. 57-59.
4. Х.-Й Браун, А. Терещенко, Дж. Лейн. Высокочастотная правка бесшовных труб из нержавеющей стали // Трубы-Украина – 2007. Сб. конф. ІТА – 2007. – С. 300-304.
5. Новая технология производства коррозионностойких труб высокого качества / Н.В. Винокуров, А.А. Терещенко, В.Д. Носарь, Л.В. Гречаник, Н.А. Чумакова// Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Том 8. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2005. – С. 453-455.
6. Пат. №30300U Україна, бюл. № 16 МПК С10М 135/00. Мастило технологічне для обробки металів тиском. / Терещенко А.А., Куценко М.О., Лютик В.Я., Овчаренко В.Г., Жук В.М. та інш.
7. Дехтярьов В.С., Фролов Я.В. Новый метод построения поперечного профиля рабочей части ручья калибров станом ХПТ // Теорія і практика металургії. – 2006. – №12. – С. 25-30.