

УДК 621.774

Е.Д.Кузнецов, Б.Ю.Никсдорф

СТРУКТУРА ОТКЛОНЕНИЙ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ТРУБ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ НА СТАНАХ ПИЛИГРИМОВОЙ ПРОКАТКИ.

Приведені відомості про алгоритм і результати дослідження відхилень товщини стінки безшовних труб, прокатаних на станах гарячої пилигримової прокатки. За основу взято вимірювання товщини стінки по довжині труби за допомогою ультразвукового товщиноміра і подальшого виділення компонент з використанням цифрових фільтрів.

Приведены сведения об алгоритме и результатах исследования отклонений толщины стенки бесшовных труб, прокатанных на станах горячей пилигримовой прокатки. За основу взято измерения толщины стенки по длине трубы с помощью ультразвукового толщиномера и последующего выделения компонент с использованием цифровых фильтров.

Algorithm data and results of research of deviations of wall thickness of seamless pipes are given. For a basis are taken measurements of a thickness of walls on length of pipes by means of ultrasonic thickness gauge and the subsequent allocation of components with use of digital filters.

Введение

Горячая пилигримовая прокатка в мировой практике производства стальных труб с каждым годом становится всё более экзотичной технологией, применяемой преимущественно для изготовления толстостенных труб. Тем не менее до настоящего времени в Украине этот способ является основным технологическим элементом, применяемым при производстве труб нефтяного сортамента.

Такая технология наряду с относительно малой производительностью и довольно низким качеством поверхности по сравнению с другими современными способами характеризуется повышенным браком по толщине стенки, даже при довольно широких допусках $+12,5/-10\%$.

Проблема. В настоящее время Нижнеднепровский трубный завод использует трубную заготовку из низколегированных сталей собственного производства и экономические потери в значительной мере компенсируются дополнительной переплавкой забракованных труб. Вне сомнения, вследствие повышения цен на энергоносители, а также перехода на изготовление труб из высоколегированных сталей они станут довольно ощутимыми. И в связи с этим неизбежно возрастет актуальность проблемы устранения такого вида брака.

Среди экспертов отсутствует однозначное мнение об оптимальном пути решения этой проблемы. Называют следующие причины брака и пути его устранению:

- нестабильность подачи и поворота гильзы, требуется заменить механизм подачи поворота;
- неравномерность температуры слитка при прошивке и гильзы при прокатке, нужна стабилизация температурного режима;
- погрешность установки валков пилигримового стана, необходимы меры по их устранению;
- отсутствие средств измерения толщины стенки в процессе прокатки, рекомендуется установить лазерный толщиномер;
- физический и моральный износ оборудования, нужна коренная реконструкция трубопрокатных цехов;
- эксцентриситет гильзы, образующийся при проршивке слитка;
- на существующих пилигримовых станах вообще не возможна прокатка труб повышенной точности и так далее.

Вопросам повышения точности толщины стенки труб, прокатываемых на пилигримовых станах, посвящено большое количество публикаций, но в основном они касаются станов ХПТ и ХПТР. Подробный обзор их сделан в [1].

В связи с перечисленными обстоятельствами возникает необходимость выбора приоритетных направлений решения повышения точности горячекатаных труб, которые при минимуме материальных и временных затрат позволят устранить влияние наиболее значимых причин брака.

Результаты исследований. Для решения такой задачи проведено исследование размерной структуры отклонений толщины стенки труб, прокатанных на пилигримовых установках Нижнеднепровского трубопрокатного завода. В его основу положена методика, описанная в [2 – 6]. Суть её состоит в том, что для выбора оптимального пути решения проблемы повышения точности вначале проводится комплекс исследований, предусматривающих предварительный анализ характера отклонений размеров. Затем определяются основные причины образования размерных погрешностей и пути их устранения. Такой подход успешно использовался ранее при разработке и освоении технологий изготовления труб ответственного назначения из высоколегированных сталей и сплавов.

Исследование проведено на трубах следующих размеров: 168×9 мм; 168×10,6 мм; 219×20 мм и 299×9,5 мм, прокатанных на обоих пилигримовых установках завода. Измерение толщины стенки

производилось с помощью УЗ толщиномеров по всей поверхности трубы по спирали с шагом 50 мм. Количество измеренных значений толщины стенки для отдельных труб находилось в пределах 3000 – 7000.

Алгоритм обработки измерительной информации, предусматривал выполнение следующих операций: удаление ошибок измерений; вычисление статистических характеристик измерительной информации; определение трендовых составляющих и их удаление; оценку вероятности попадания значений толщины стенки в различные интервалы полей допусков; оценку амплитудно-частотных характеристик отклонений толщины стенки; проектирование цифровых фильтров; выделение составляющих отклонений толщины стенки; вычисление статистических характеристик выделенных составляющих; формирование баланса размерных погрешностей и их ранжирование по степени влияния.

Полученные результаты свидетельствуют об ошибочности существующего мнения о причинах повышенного брака и способов устранения их влияния. Принципиальным результатом являются данные, свидетельствующие о том, что низкая точность в значительной мере связана с недостатками технологического обеспечения производства, принятого на заводе.

В частности установлено, что трубы различных размеров, прокатанные в разных цехах, имеют относительно стабильный, однотипный характер отклонений толщины стенки. Эта закономерность показана на рис. 1.

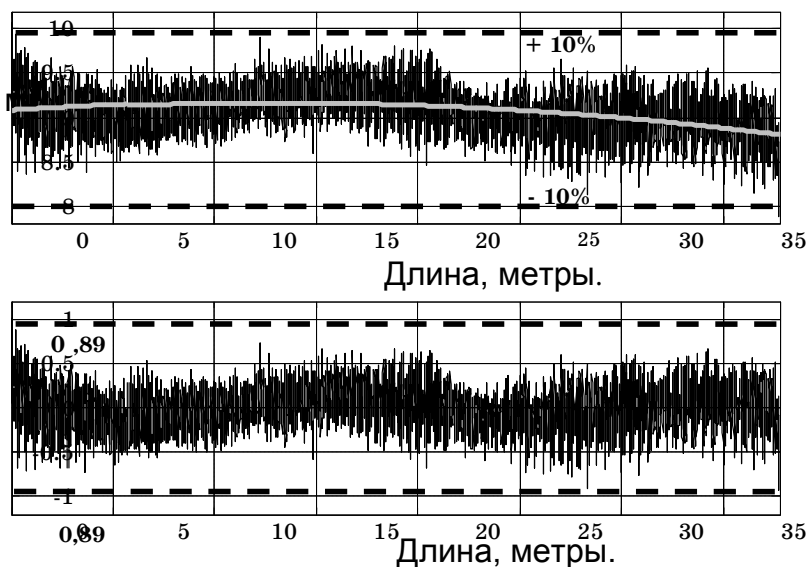


Рисунок 1 - Отклонения толщины стенки по длине трубы размером 168×9 мм, прокатанной в ТПЦ-4.

На верхнем графике приведены измеренные значения толщины стенки и светлой линией показана расчетная трендовая составляющая. Установлено, что её образование связано с неравномерностью диаметра дорна. Анализ технологических инструкций и фактического состояния используемых при прокатке труб дорнов свидетельствуют о том, что эти факторы вносят значительную долю погрешности. Без повышения точности дорнов не может быть обеспечено повышение точности труб, поскольку они ответственны за образование смещения средних значений толщины стенки относительно номинальных даже при идеальной работе механизма подачи и поворота гильзы. По этой и другим причинам этот вид погрешности зачастую достигает существенных величин.

На нижнем графике показано положение отклонений толщины относительно среднего значения в пределах поля допуска после удаления трендовой составляющей. Сделав допущение, что в этом случае отклонения толщины стенки подчиняется нормальному закону распределения, выполнен расчет вероятности попадания её значений в различные поля допусков. Результаты приведены в таблице № 1.

На основании полученных результатов с достаточной величиной достоверности можно сделать вывод о возможности изготовления труб в пределах поля допуска $\pm 6\%$ при относительно малых затратах на изменение технологии.

Расчетные значения нормированных автокорреляционных функций, типовой пример которых показан на рис. 2, свидетельствуют о том, что образование других составляющих отклонений толщины стенки связано с наличием случайных и периодических компонент.

Таблица 1

Вероятности попадания значений отклонений толщины стенки трубы размером $299 \times 9,5$ мм, ТПЦ-4.

Интервалы поля допуска, %	Вероятность попадания в допуск.
± 10	0,99999* / 1**
± 9	0,99996* / 1**
± 8	0,99972* / 0,99980**
± 7	0,99854* / 0,99900**
± 6	0,99363* / 0,99530**
± 5	0,97710* / 0,98140**

* При совмещении средней толщины стенки с номинальным значением;

** после устранения параболического тренда.

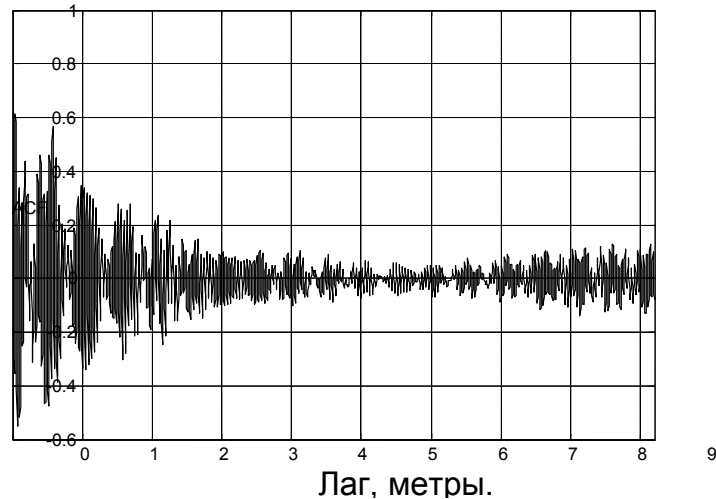


Рисунок 2 - Нормированная автокорреляционная функция отклонений толщины стенки трубы размером 168×9 мм.

Для определения периодических составляющих проведена оценка амплитудно-частотных характеристик отклонений толщины стенки относительно средних значений. Далее на их основе рассчитаны параметры цифровых фильтров и последующее разделение на составляющие, образование которых связано с воздействием различных технологических причин.

Типовая спектральная плотность отклонений толщины стенки показана на рис. 3. Здесь по оси абсцисс отложены значения приведенных частот, представляющих количество колебаний на метр длины, а по оси ординат амплитуды отклонений, выраженные в дВ. На основании такого анализа установлено, что приведенная частота наибольших по амплитуде периодических отклонений находится в пределах (0,1 – 0,6)/ м.



Рисунок 3 - Амплитудно-частотные характеристики отклонений толщины стенки трубы размером 168×7,0 мм.

Такая закономерность дает основание считать, что образование такого рода составляющих связано с эксцентриситетом гильзы и наложением на него искажения поперечного профиля трубы, возникающего в процессе прокатки. Механизм этого явления иллюстрируется данными, приведенными на рис. 4.

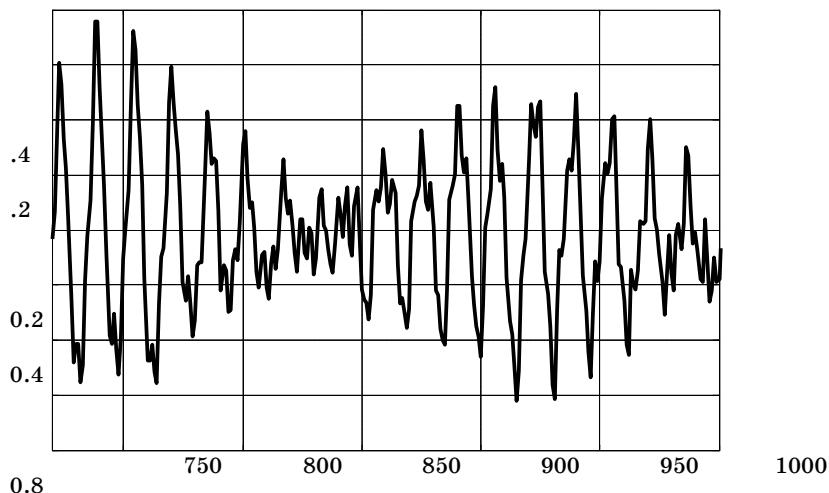


Рисунок 4 - Отклонения толщины стенки трубы размером 219 × 7,0 мм на участке длиной 300 мм (700 – 1000 мм).

Он может быть объяснен следующим образом. Вследствие неправильно выбранной калибровки, или из-за погрешностей изготовления и установки валков, применения повышенной подачи и по другим причинам в процессе прокатки в поперечных сечениях прокатываемых труб будут неизбежно возникать локальные утолщения или утонения. Вследствие поворота гильзы они будут накладываться на эксцентриситет гильзы, смещаясь относительно друг друга по фазе. При совпадении по фазе максимума, связанного с эксцентриситетом, и локального утолщения, разностенность возрастет. При совпадении с минимальным значением она уменьшится. На графике 4 это соответствует положениям около 740 мм и 840 мм. С учетом описанного механизма такой вид отклонений был назван «наведенной компонентой».

Спроектированные цифровые фильтры использовали для разделения отклонений толщины стенки на составляющие, приведенные на рис. 5. Низкочастотная составляющая характеризует стабильность исходной настройки стана на заданный размер. Она относительно мала и свидетельствует о том, что настройка стана довольно стабильна и прокатка может осуществляться без вмешательства оператора. Это обстоятельство дает основание утверждать, что предложение об оснащении стана лазерным толщиномером представляется излишним.

Наибольшую погрешность вносит «наведенная компонента». Её характер свидетельствует о том, что проблема замены подающего механизма гипербализирована. Более значима необходимость стабилизации величины подачи. На пилигримовых станах Нижнеднепровского трубопрокатного завода она задается вальцовщиками произвольно в довольно широком интервале, что приводит к повышенным отклонениям «наведенной компоненты». Действующие технологические инструкции не предусматривают четкую фиксацию этого технологического параметра. В противоположность этому при производстве холоднокатаных труб стабильность подачи является общеизвестным правилом, строго регламентированной величиной.

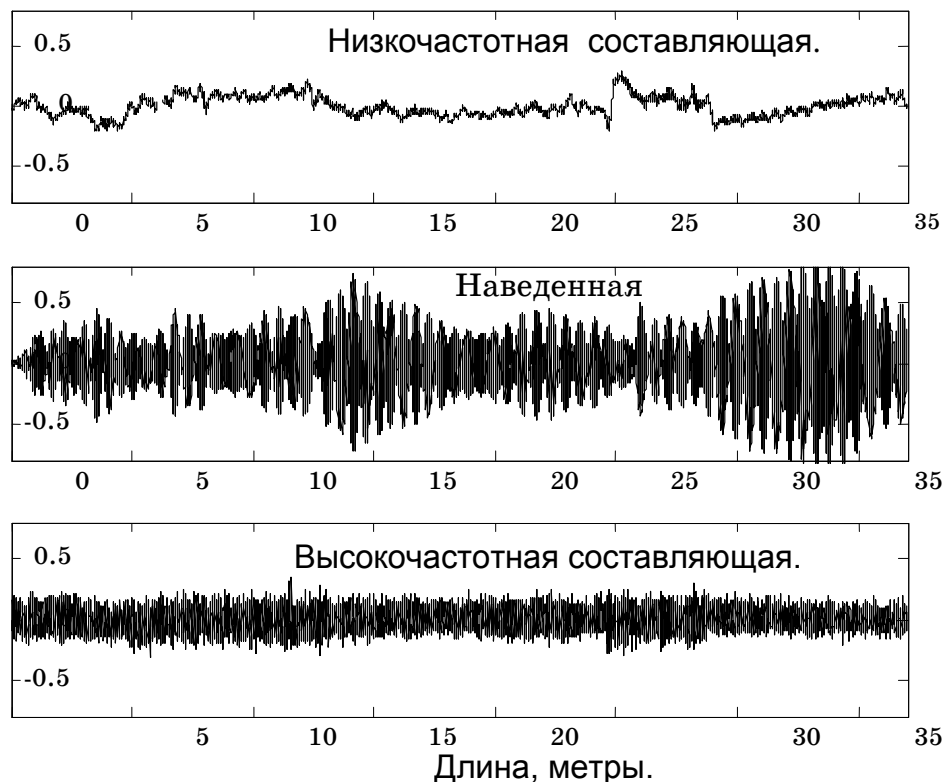


Рисунок 5 - Составляющие отклонений толщины стенки по длине трубы размером 168×8,9 мм.

Выводы

Проведенные исследования показали, что имеются большие резервы повышения точности размеров горячекатаных труб, прокатываемых на станах пилигримовой прокатки, без их коренной реконструкции. Для этого требуется внесение соответствующих корректив технологического и метрологического характера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Е.Д. Развитие теории и практики производства прецизионных стальных труб/ Сб. «Развитие теории процессов производства труб». Днепропетровск, 2005, С. 232 – 259.
2. Кузнецов Е.Д. Некоторые тенденции состояния производства стальных труб/ Металлургическая и горнорудная промышленность, № 1-2004, С. 14 – 18.
3. Кузнецов Е.Д., Кузнецов Д.Е., Проблема обеспечения точности размеров и качества поверхности при производстве труб/ Металлургическая и горнорудная промышленность, № 8 – 9, 2000, С. 336 – 339.
4. Д.Е.Кузнецов, В.С.Вахрушева, Е.Д.Кузнецов. Алгоритм оценки состояния поверхностей прецизионных труб/ Материалы 3-й Международной научно-практической конференции по проблемам совершенствования производства и эксплуатации трубной продукции// Днепропетровск, 2002, С. 98 – 103.
5. А.с. 1498573 (СССР). Устройство для контроля толщины стенки труб. Кузнецов Е.Д., Никсдорф Б.Ю., 1989, Б.И. № 29.
6. А.с. 1751908 (СССР). Способ управления трубопрокатным станом. Кузнецов Е.Д., Никсдорф Б.Ю., 1992, Б.И. № 28.