

ПРЕЦИЗИОННЫЕ КАПИЛЛЯРНЫЕ ТРУБЫ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ

Паршаков С.И., Серебряков Ал. В., Богатов А. А., Розенбаум М.М.
(ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ»)

E-mail: spi@mtf.ustu.ru

Серебряков Ан.В., Марков Д.В., Ладыгин С.А., Прилуков С.Б.
(ОАО «Первоуральский новотрубный завод»)

E-mail: mail@pntz.com

Ужесточение конкуренции на внутреннем и внешних рынках трубной продукции делает для российских производителей актуальной задачу повышения их конкурентоспособности. Достижение этой цели возможно лишь при условии повышения качества труб и одновременном снижении затрат на единицу продукции.

Капиллярные трубы из коррозионностойкой стали и сплавов применяются для трубопроводов и деталей конструкций разного назначения. Трубы поставляются по ГОСТ 14162-79 обычной и повышенной точности изготовления. При повышенной точности предельные отклонения по наружному диаметру и толщине стенки не должны превышать $\pm 0,030$ мм.

Прецизионные капиллярные трубы выпускаются по специальным техническим условиям, которые устанавливают более жесткие требования к точности размеров и качеству поверхности:

- предельные отклонения размеров не должны превышать: по наружному диаметру $\pm 0,015$ мкм, по толщине стенки $\pm 0,015$ мкм;
 - шероховатость наружной поверхности R_a должна быть не более $0,63$ мкм, шероховатость внутренней поверхности R_a должна быть не более $0,80$ мкм.
- Кроме того, нормируются величина зерна и механические свойства труб.

При изготовлении капиллярных труб толщина стенки зависит от ряда технологических факторов. В производственных условиях эти факторы являются стохастическими, следовательно, и определяемая ими толщина стенки трубы тоже является стохастической величиной. Область распределения последней, как показывает практика, значительно перекрывает поле допуска. В результате отбраковка труб по несоответствию размера достигает 30%. Последнее, к тому же, существенно увеличивает расходный коэффициент металла и затраты на единицу продукции.

Таким образом, задача заключается в достижении высокой точности и стабильности размеров по длине каждой трубы, труб в партии и между партиями, а также в обеспечении субмикронной чистоты наружной и внутренней поверхности труб.

На ОАО «Первоуральский новотрубный завод» совместно с кафедрой ОМД Уральского государственного технического университета разработана и освоена новая технология

производства прецизионных капиллярных труб из коррозионностойкой стали.

В данной работе представлены сравнительные результаты оценки точности труб, изготовленных по старой и новой технологиям. При этом использованы стандартные процедуры статистического анализа. Результаты исследований приведены ниже.

Материал исследований

Исследования проводились на выборках из опытных партий, опытно-промышленных партий и промышленных партий труб, изготовленных по новой технологии. Для сравнения использовали выборку из партий труб, изготовленных по старой технологии. Выборки формировались по методике, изложенной в ГОСТ 16493-70 [1]. Объем выборки из одной партии труб для анализа толщины стенки составлял 73 штуки, т.е., свыше 7000 измерений на каждую партию. Выборки для определения статистик по диаметру труб – 146 образцов, по шероховатости – 101 образец.

Метод исследования

Метод исследования включал определение и статистическую обработку регламентируемых характеристик труб. Необходимые измерения осуществляли стандартными измерительными приборами.

При статистической обработке результатов измерений применяли классические методы статистического контроля качества [2], скорректированные в соответствии с отечественными стандартами, в частности, [3], [4], [5] и [1].

Обработка информации осуществлялась стандартными средствами электронных таблиц и специальной программой, обеспечивающей подготовку, хранение и преобразование данных.

Порядок выполнения работы

Определение размеров **наружного диаметра труб** осуществлялось с использованием микрометра ETALON BASIC класса 0.001, диапазон 0 – 25 мм. Измерения наружного диаметра производили в трех поперечных сечениях по длине трубы в четырех ее положениях (с поворотом на 45°) с последующим расчетом средних значений диаметров в каждом сечении и вычислением среднего наружного диаметра трубы. Статистическую обработку результатов измерений производили в соответствии с ГОСТ 8.207-76 [2].

Контроль **шероховатости поверхности** проводили на патрубках длиной 50 мм, отобранных

от концов труб и сточенных по образующей до половины диаметра. Измерения шероховатости поверхности по параметру Ra производили на профилометре модели 296 (тип II). Измерения проводили на базовой длине 0,25 мм по ГОСТ 2789-73.

Измерения **толщины стенки труб** производили двумя способами:

- Для сравнительного анализа точности и стабильности стенки труб, измерения производили электропотенциальным методом с использованием прибора разработки ФГУП «ИРМ». Для каждой трубы записывался специальный файл, содержащий профиль стенки этой трубы в виде изменения электросопротивления по длине трубы. Длина измеряемого участка трубы ~9,7 мм, шаг – 10 мм. С использованием переводного коэффициента, полученного путем калибровки, данные файлов, содержащих профили труб в виде электрического сопротивления, преобразовывали в миллиметры и сохраняли для дальнейшей обработки в виде текстовых файлов.

- Для калибровки прибора на трубах, взятых из нескольких контролируемых партий, осуществляли измерение толщины стенки в четырех точках под углом 90° друг относительно друга. Измерения толщины стенки производились на настольном микрометре со стрелочным отсчётным устройством (R иглы 0,5 мм, цена деления 0,001 мм, предел допустимой погрешности ±2мкм) МИ 2087-90, ГОСТ 10388-63. По результатам измерений определили коэффициент перевода размерности из показаний прибора в миллиметры.

Результаты измерений толщины стенки рассматривались как нормально распределенная случайная величина, а ряд измерений, упорядоченный по длине трубы – как стационарный случайный процесс. Проверка статистической гипотезы о нормальном распределении осуществлялась в соответствии с ГОСТ 11.006-74.

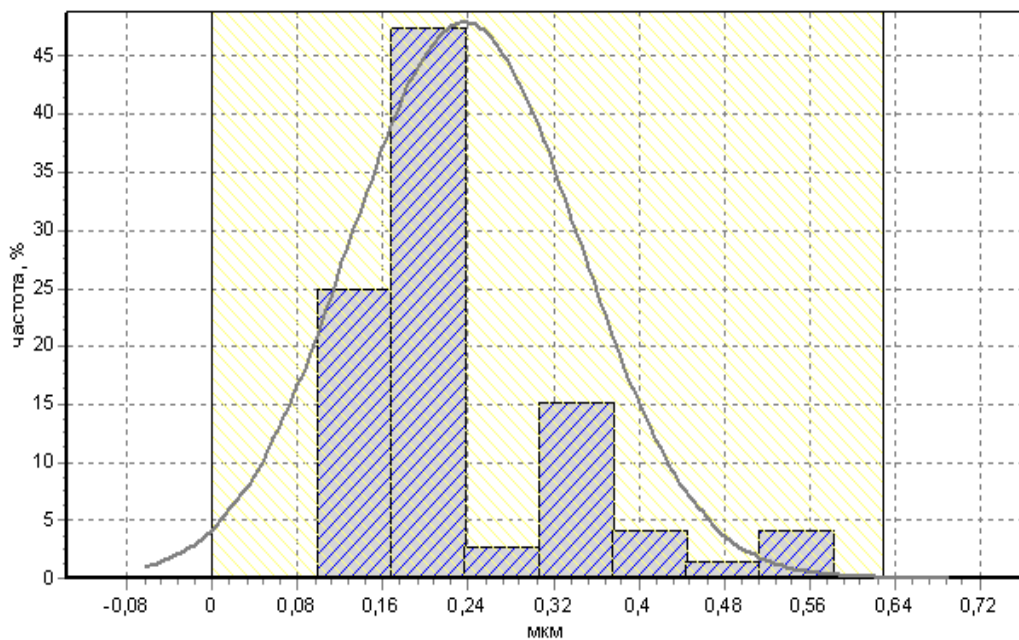
Исключение грубых ошибок, вызванных помехами и сбоями в процессе измерения, осуществлялось в соответствии с ГОСТ 11.002-73.

В соответствии с ГОСТ 8.207-76 по очищенным от грубых ошибок результатам находили среднюю толщину стенки, оценку среднего квадратического отклонения результата измерения и доверительные границы случайной погрешности результата измерения. Кроме того, находили коэффициент корреляции между координатой измерения и результатом измерения и строили уравнение линейной регрессии – зависимость измерения от координаты. Проверяли значимость коэффициента корреляции и коэффициентов уравнения регрессии.

Результаты исследования

Результаты измерений **шероховатости** наружной поверхности труб приведены рис. 1, внутренней – на рис. 2. Все измерения укладываются в поле допуска. Сплошная линия соответствует плотности нормального распределения с параметрами, определенными для данной выборки. Закон распределения отличается от нормального с доверительной вероятностью 95%.

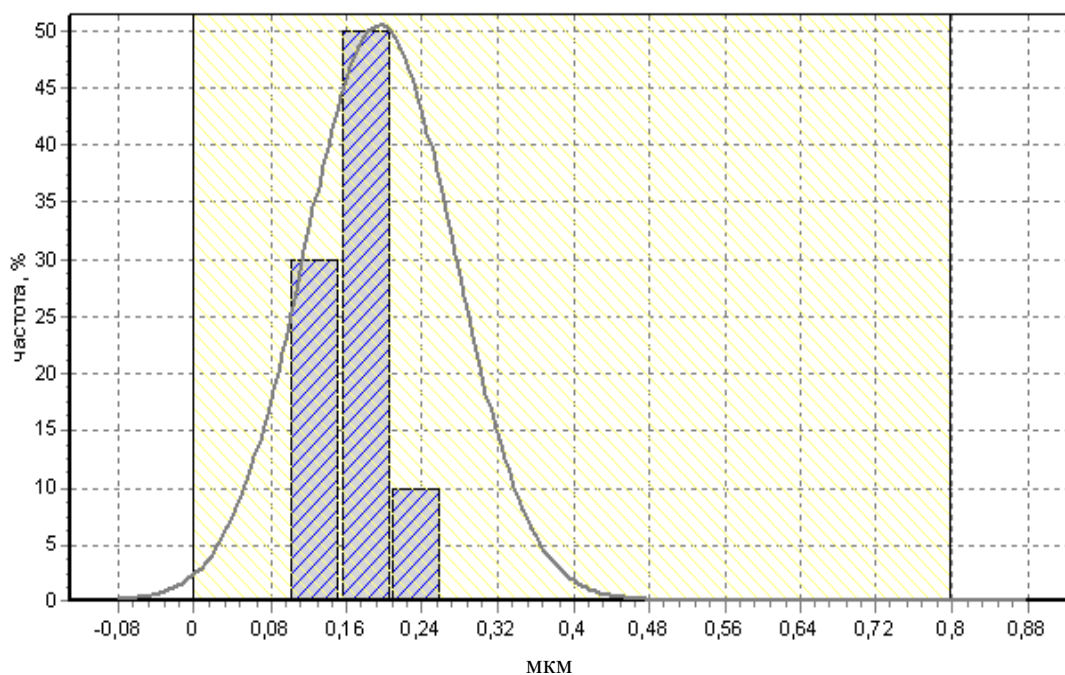
Распределение шероховатости Ra наружной поверхности труб



Среднее, мкм: 0,165; Стандартное отклонение, мкм; 0,0651; Отклонение (3-х сигм.), мкм: ±0,195.

Рис. 1

Распределение шероховатости Ra внутренней поверхности труб



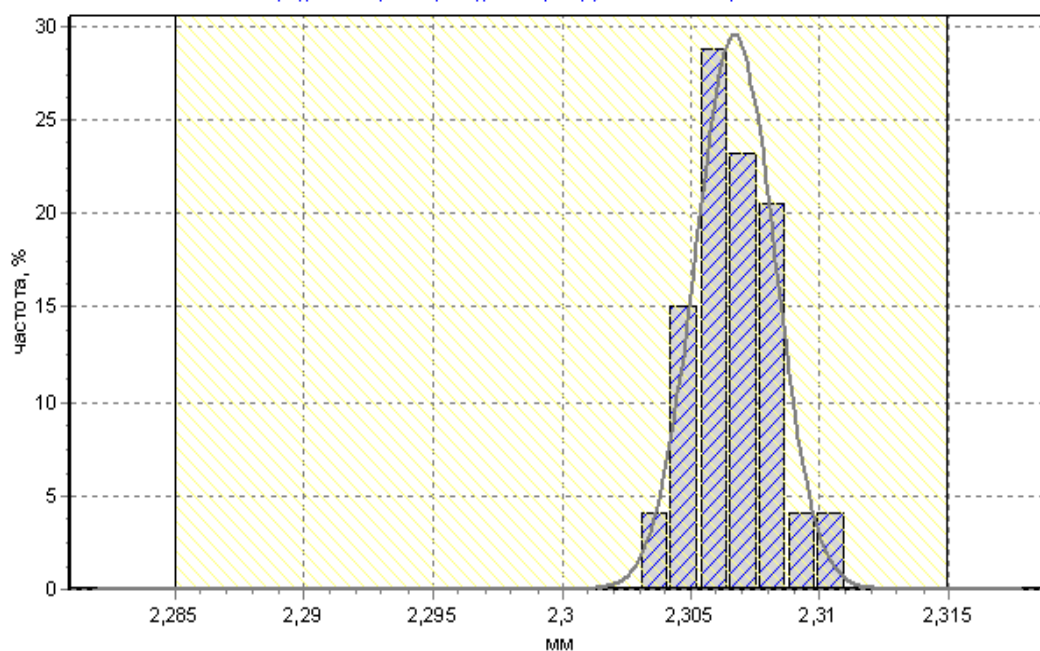
Среднее, мкм: 0,237; Стандартное отклонение, мкм; 0,1078; Отклонение (3-х сигм.), мкм: $\pm 0,324$.
Рис. 2

Таким образом, подтверждается, что новая технология обеспечивает удовлетворение высоких требований к качеству наружной и внутренней поверхностей труб.

Для проверки точности наружного диаметра, как указано выше, были осуществлены измерения в четырех положениях для трех поперечных сечений труб, взятых из опытных и опытно-промышленных партий. По результатам измерений были вычислены средние **наружные диаметры труб**. На рис. 3 представлена типичная гистограмма поля

рассеивания диаметра для выборки объемом 73 трубы одной из опытных партий и выделено поле допуска. Сплошная линия соответствует плотности нормального распределения с параметрами, определенными для данной выборки. На рисунке видно, что поле рассеивания занимает лишь малую часть поля допуска. Аналогичные результаты получены для других партий труб, изготовленных по новой технологии, что свидетельствует о достижении высокой точности наружного диаметра.

Распределение размеров диаметра труб опытной партии 1301



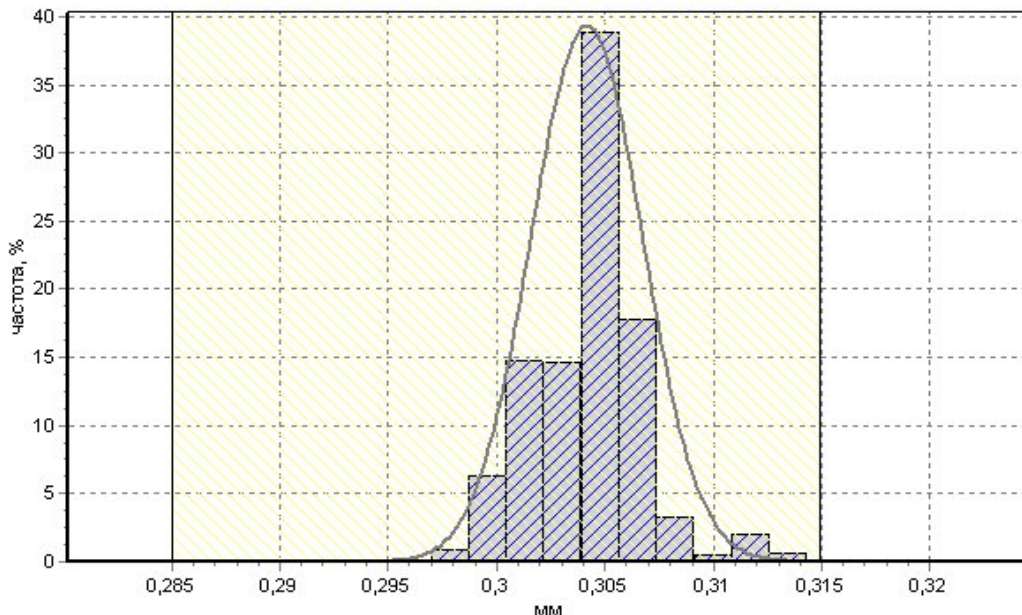
Среднее, мм: 2,307; Стандартное отклонение, мм: 0,0015; Отклонение (3-х сигм.), мм: $\pm 0,005$;
Доверительный интервал, мм: $\pm 0,005$.

Рис. 3

На рис. 4 представлена типичная гистограмма поля рассеивания **толщины стенки** для выборки из опытной партии 1301. Сплошная линия соответствует плотности нормального распределения с параметрами, определенными для

данной выборки. Поле рассеивания размеров толщины стенки не превышает половины выделенного на рисунке поля допуска и удовлетворяет гипотезе нормального распределения.

Распределение размеров толщины стенки труб опытной партии 1301



Среднее, мм: 0,304; Стандартное отклонение, мм: 0,0026; Отклонение (3-х сигм.), мм: $\pm 0,008$; Коэффициент корреляции: 0,309; Критическое значение коэффициента корреляции: 0,295; а в $a+bx$, мм: 0,303; b в $a+bx$, мм/мм: 0,000; Остаточная дисперсия, мм²: 0,000018; Доверительный интервал, мм: $\pm 0,013$,
Рис.4

Особенно показательно сравнение двух технологий по результатам контроля **толщины стенки**. На рис. 5 приведены типичные результаты измерения толщины стенки трубы из партии, изготовленной по старой технологии. Аналогичные результаты получены и для других труб из этой партии. Для этих труб характерна существенная периодическая продольная разностенность (рис. 5, а). Результаты измерений толщины стенки не удовлетворяют закону нормального распределения,

а поле рассеивания выходит за пределы поля допуска (рис. 5, б).

Для сравнения взят типичный результат измерения толщины стенки трубы, взятой из промышленной партии, изготовленной по новой технологии (рис. 6). Толщина стенки имеет небольшой случайный разброс по длине трубы (рис. 6, а). Поле рассеивания с большим запасом укладывается в поле допуска (рис. 6, б), а распределение с 95% доверительной вероятностью удовлетворяет нормальному закону.

Изменение толщины стенки по длине трубы.
Старая технология.

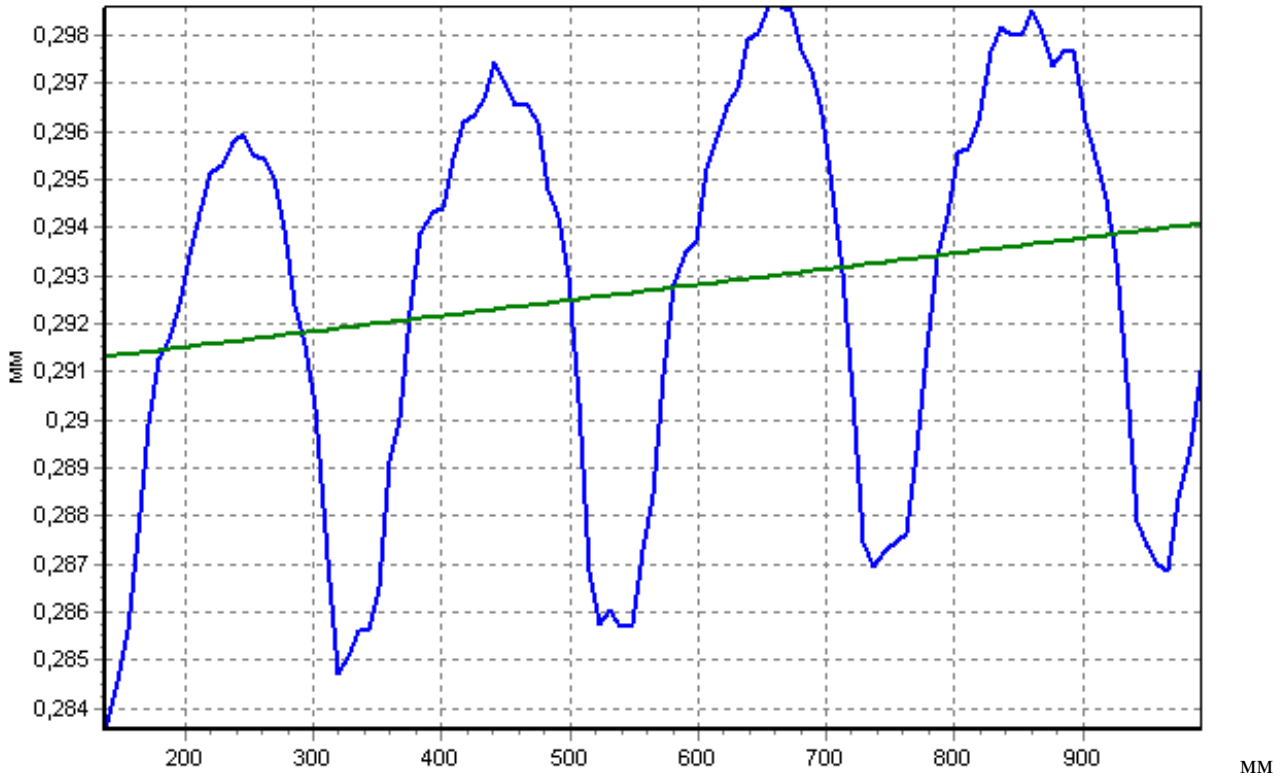


Рис.5, а

Гистограмма толщины стенки трубы

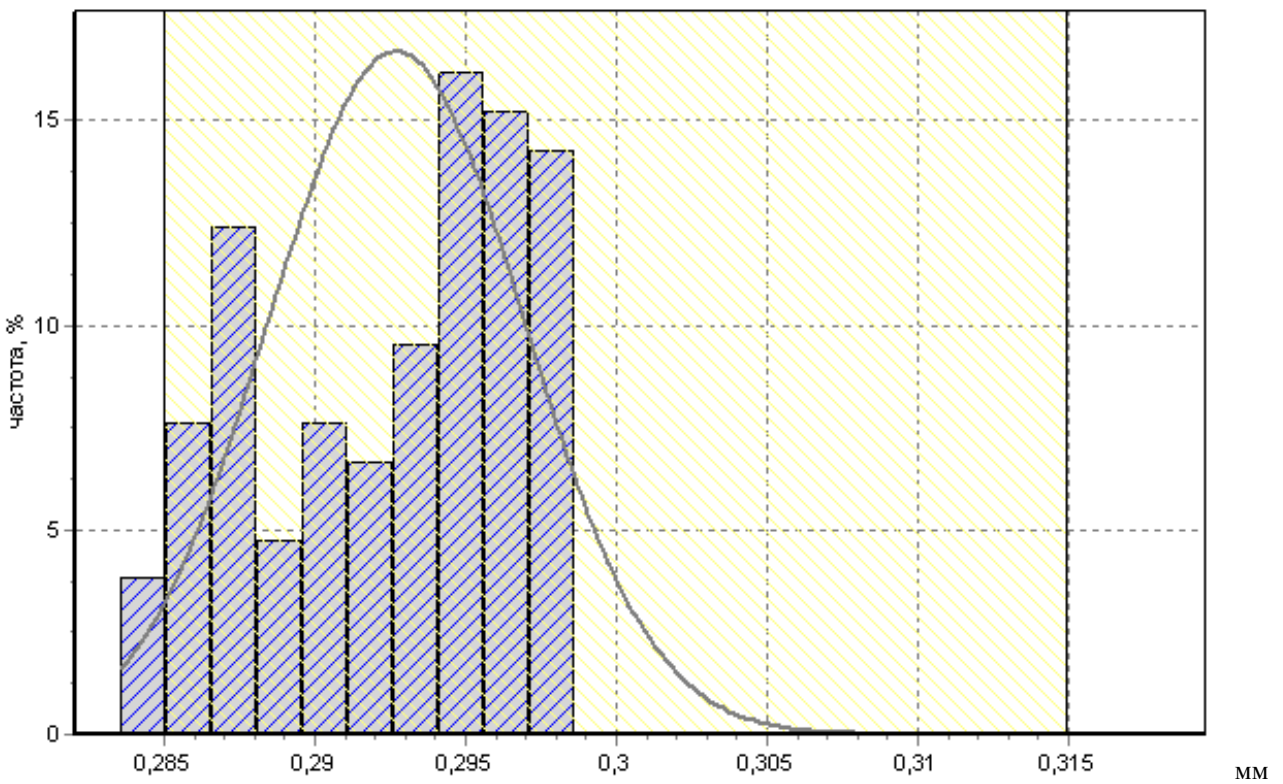
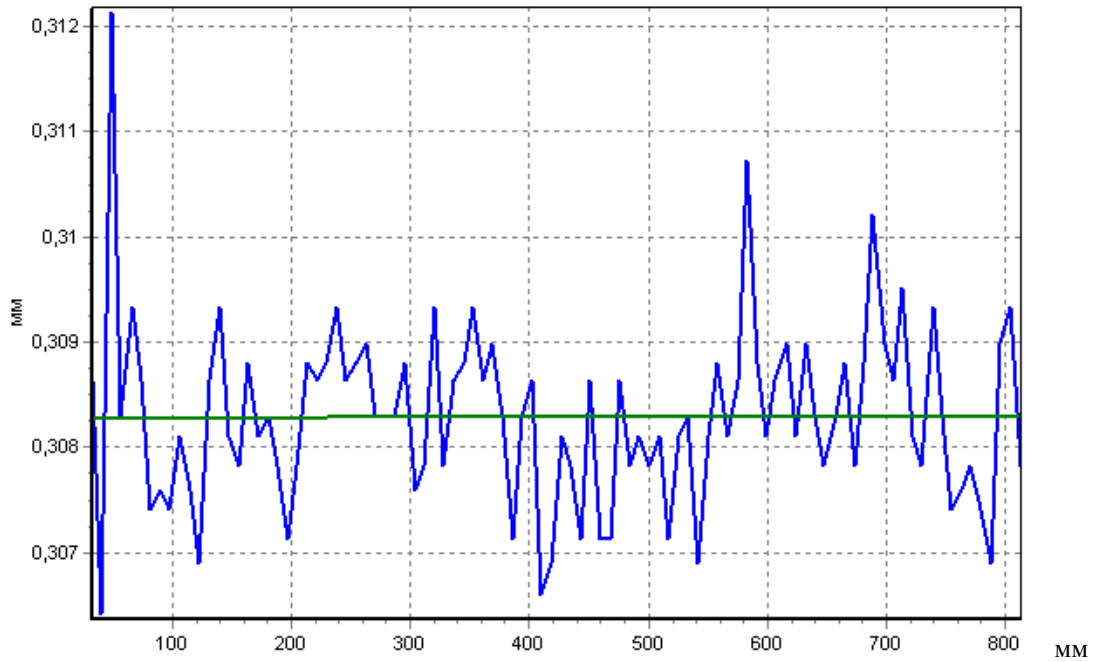


Рис. 5, б

Изменение толщины стенки по длине трубы.



Новая технология
Рис.6, а

Гистограмма толщины стенки трубы

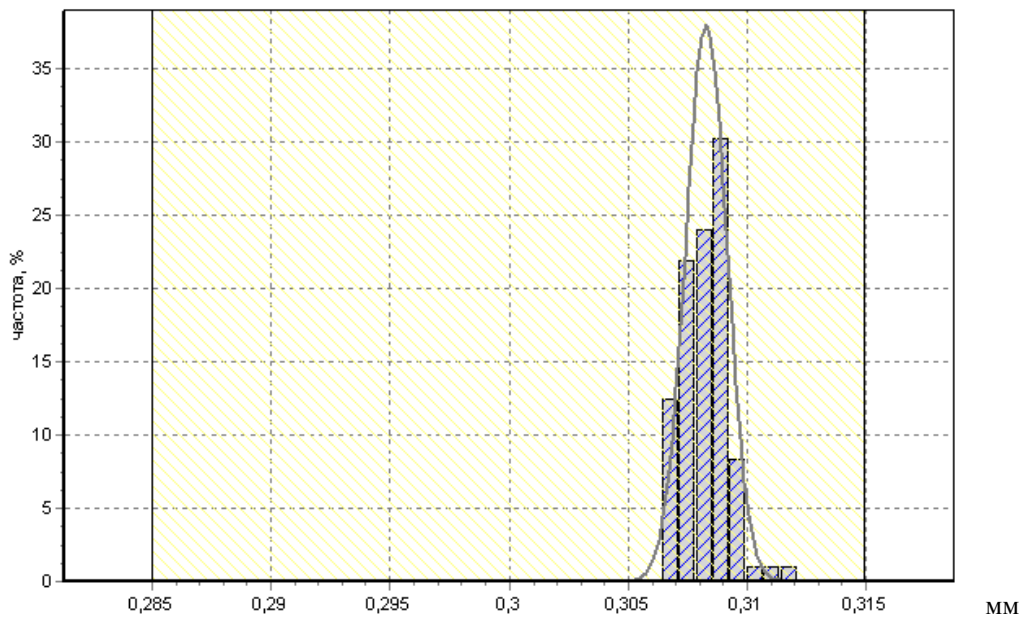
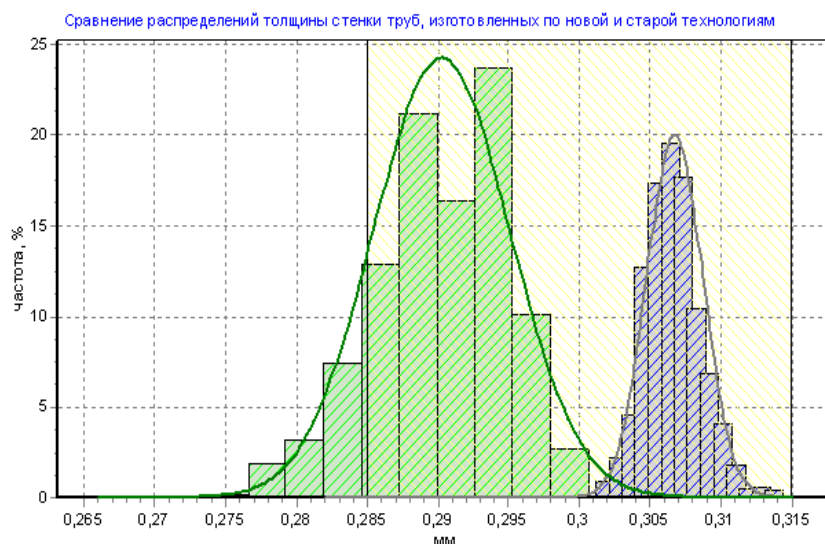


Рис. 6, б

Результаты, приведенные на рис. 5 и рис. 6 полностью подтверждаются по большим выборкам. Сравнение законов распределения размера толщины стенки труб (рис.7) по старой и новой технологиям позволяет утверждать, новая технология обеспечивает высокую стабильность и

предсказуемость результатов. Можно утверждать, что, по меньшей мере, 91,6% таких труб имеют толщину стенки, укладывающуюся в трех-сигмовый доверительный интервал[2], который в этом случае составляет примерно лишь одну треть поля допуска.



Старая технология: Среднее, мм: 0,290; Стандартное отклонение, мм: 0,0048; Отклонение (3-х сигм.), мм: $\pm 0,014$; Коэффициент корреляции: 0,141; Критическое значение коэффициента корреляции: 0,293; а в $a+bx$, мм: 0,289; b в $a+bx$, мм/м: 0,0026; Остаточная дисперсия, мм²: 0,000034; Доверительный интервал, мм: $\pm 0,017$.

Новая технология: Среднее, мм: 0,307; Стандартное отклонение, мм: 0,0020; Отклонение (3-х сигм.), мм: $\pm 0,006$; Коэффициент корреляции: 0,114; Критическое значение коэффициента корреляции: 0,310; а в $a+bx$, мм: 0,306; b в $a+bx$, мм/м: 0,0009; Остаточная дисперсия, мм²: 0,000004; Доверительный интервал, мм: $\pm 0,006$.

Рис. 7

Поскольку гипотеза о нормальном распределении для размеров толщины стенки труб, изготовленных по старой технологии, не подтвердилась, то статистически достоверных выводов для оценки возможного количества брака сделать невозможно. Тем не менее из рис.7 видно, что больше 30% труб, изготовленных по старой технологии выходят за пределы поля допуска.

Действительная ширина поля рассеивания толщины стенки труб, изготовленных по новой технологии, в несколько раз меньше аналогичной для труб, изготовленных по старой технологии. Так, по выборке из партий труб, изготовленных по старой технологии, максимальная ширина поля рассеивания составила 0,052 мм. Соответственно, в опытных партиях – 0,027...0,017 мм, в опытно-промышленных и промышленных партиях – не превысила 0,008 мм. Это свидетельствует о высокой стабильности параметров технологического процесса при новой технологии.

Во всех партиях труб, как изготовленных по старой, так и по новой технологиям обнаружен статистически значимый тренд толщины стенки по длине трубы. Тренд оценивали величиной наклона линии регрессии. По величине тренда в каждой партии труб можно сформировать три группы: первая группа – тренд статистически не значим и не влияет на качество; вторая группа – статистически значимый небольшой тренд, не более 4 мкм/м; третья группа – значительный тренд, который на трубах, изготовленных по старой технологии, составил свыше 12 мкм/м. Для выявления причин тренда необходимы дополнительные исследования.

При изучении диаграмм толщины стенки в зависимости от координаты на ряде труб была обнаружена ярко выраженная периодичность (рис. 5, а). Существование такой периодичности не позволяет гарантировать качество толщины стенки при

принятом способе контроля размеров, осуществляемом лишь на концах трубы. Применение приборов, обеспечивающих непрерывный контроль размера трубы в потоке дает такую гарантию.

Выводы

Использование новой технологии позволяет ужесточить поле допускаемых отклонений по диаметру и по толщине стенки до $\pm 0,015$ мм и ввести нормирование шероховатости внутренней поверхности труб по параметру R_a не более 0,80 мкм (фактически достигнута шероховатость – R_a не более 0,50 мкм).

Новая технология обеспечивает стабильность размеров и качества поверхности труб как внутри партии, так и между партиями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 16493-70 «Качество продукции. Статистический приемочный контроль по альтернативному признаку. Случай недопустимости дефектных изделий в выборке».
2. Шторм Р., Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. -М.: Мир, 1970.
3. ГОСТ 8.207-76 «Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений».
4. ГОСТ 11.006-74 «Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим»
5. ГОСТ 8.508-84 «Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации ГСП