

ПРЕЦИЗИОННЫЕ ОСОБОТОНКОСТЕННЫЕ ТРУБЫ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ ЭИ-847

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

E-mail: spi@mtf.ustu.ru

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

E-mail: mail@pntz.com

Бесшовные холоднодеформированные особотонкостенные трубы из стали ЭИ-847 по ТУ 14-159-293-2005 используют в качестве оболочки тепловыделяющего элемента (ТВЭЛа). Конструкция ТВЭЛа состоит из двух труб, расположенных одна в трубе. Кольцевой зазор между трубами заполняют топливом. Тепловая энергия снимается как с наружной, так и с внутренней поверхности ТВЭЛа. ТВЭЛы устанавливают в кассету, кассеты в сборку. Точность размеров используемых труб определяет геометрическую стабильность реакторной сборки, и как следствие, – стабильность ядерно-физических и тепло-гидравлических характеристик реактора.

Для особотонкостенных труб из стали ЭИ-847 по ТУ 14-159-293-2005 установлены специальные требования к точности их размеров. Предельные отклонения размеров не должны превышать:

- для труб 5,2 x 0,2 мм и 9,4 x 0,2 мм по наружному диаметру $\pm 0,020$ мм, по толщине стенки $\pm 0,030$ мм;

- для труб $\text{вн}6,6 \times 0,2$ мм и $\text{вн}11,6 \times 0,2$ мм по внутреннему диаметру $\pm 0,020$ мм, по толщине стенки $\pm 0,030$ мм.

Таким образом, задача заключается в достижении указанной точности и стабильности размеров по длине каждой трубы, труб в партии и между партиями. Причем симметричное поле допуска по диаметру (внутреннему и наружному) труб составляет 0,04 мм; по толщине стенки – 0,06 мм.

Особотонкостенные трубы с указанной точностью размеров в настоящее время не изготавливают. В качестве аналога указанным трубам можно рассматривать особотонкостенные трубы из стали ЭИ-847 по ТУ 14-3-1070-81. Эти трубы изготавливают высокой и особовысокой точности размеров и поставляют только по наружному диаметру и толщине стенки. При изготовлении труб особовысокой точности предельные отклонения размеров не должны превышать:

- для труб диаметром до 10 мм по наружному диаметру $\pm 0,04$ мм, по толщине стенки $\pm 0,03$ мм;

- для труб диаметром более 10 мм по наружному диаметру $\pm 0,05$ мм, по толщине стенки $\pm 0,03$ мм.

Симметричное поле допуска по наружному диаметру труб при этом в 2,0 ... 2,5 раза больше поля допуска, принятого в ТУ 14-159-293-2005.

Для изготовления особотонкостенных труб высокой и особовысокой точности размеров

применяют прокатку на роликовом стане (ХПТР 8 ÷ 15). При этом точность размеров трубы и производительность стана определяют одни и те же факторы: величина подачи металла, коэффициент вытяжки, число двойных ходов клетки, количество ниток прокатки [1, 2]. С повышением точности размеров существенно снижается производительность стана и наоборот. Поэтому прокатка труб высокой точности размеров становится низкопроизводительным процессом.

Например, увеличение числа двойных ходов клетки и количества ниток снижает точность труб из-за уменьшения жесткости стана. Прокатка тонкостенных труб с повышенными подачами приводит к возникновению колебаний в системе стержень – заготовка [3, 4]. Эти колебания вызывают большой разброс размеров внутреннего диаметра и делают невозможным изготовление труб с указанной точностью. Селективный же набор труб с размерами в пределах указанного поля допуска на порядок повышает затраты на единицу продукции и не гарантирует требуемый уровень точности.

Разработана и освоена новая технология производства прецизионных особотонкостенных труб размерами 5,2 x 0,2 мм; 9,4 x 0,2 мм; $\text{вн}6,6 \times 0,2$ мм и $\text{вн}11,6 \times 0,2$ мм из стали ЭИ847 по ТУ 14-159-293-2005.

Для иллюстрации возможностей новой технологии ниже представлены сравнительные результаты оценки точности и стабильности размеров труб, изготовленных по новой и старой технологиям. При этом использованы стандартные процедуры статистического анализа.

Материал исследований. Исследования проводили на трех промышленных партиях труб, изготовленных по новой технологии. Для сравнения использовали выборки из двух партий труб особовысокой точности размеров, изготовленных по старой технологии. При оценке точности размеров выборки из партий труб формировались по методике, изложенной в ГОСТ 16493-70 [5] и соответствующей правилам международной сертификации качества ISO 10017:2003 [6]. Объем выборок составлял по 20 штук из партии. При оценке стабильности размеров анализу подвергались 100% труб из партии. Для упрощения изложения все партии труб были пронумерованы, соответственно: ТУ 14-159-293-2005, $\text{вн}6,6 \times 0,2$ мм, партия 1 – 43 шт. и партия 2 – 55 шт.; 5,2 x 0,2 мм, партия 3 – 41 шт.; ТУ 14-3-1070-81, 15 x 0,5 мм, партия 4 – 20 шт., партия 5 – 37 шт.

Метод исследования включал определение и статистическую обработку регламентируемых

характеристик труб. Для оценки точности и стабильности размеров рассматривались их предельные характеристики – максимальное и минимальное значения размера в сечении трубы. Расчетное среднее значение, хотя и представляет результаты в более компактной форме, реально не характеризует точность размера и не может быть использовано для контроля размеров при жестких требованиях ТУ 14-159-293-2005. Измерения диаметра и толщины стенки осуществлялись ультразвуковым методом по всей длине трубы с регистрацией в виде текстовых файлов.

При обработке результатов измерений применялись классические методы статистического контроля качества [7], скорректированные в соответствии с отечественными стандартами, в частности [5], [8-10]. Все перечисленные стандарты согласуются с документом ISO 10017:2003 [6].

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

Порядок выполнения работы. Определение внутреннего, наружного диаметров и толщины стенки труб осуществлялось с использованием установки УЗК ROTA 25 8k8. Максимальный и минимальный размеры наружного, внутреннего диаметров и толщины стенки в поперечном сечении трубы регистрировали вместе с координатой сечения, отсчитываемой от конца трубы. Шаг регистрации определялся настройкой прибора УЗК и составлял от ~1 мм до ~2,5 мм. Настройка прибора осуществлялась с использованием стандартных образцов предприятия. Пример представления результатов измерений показан на рис.1 и рис.3.

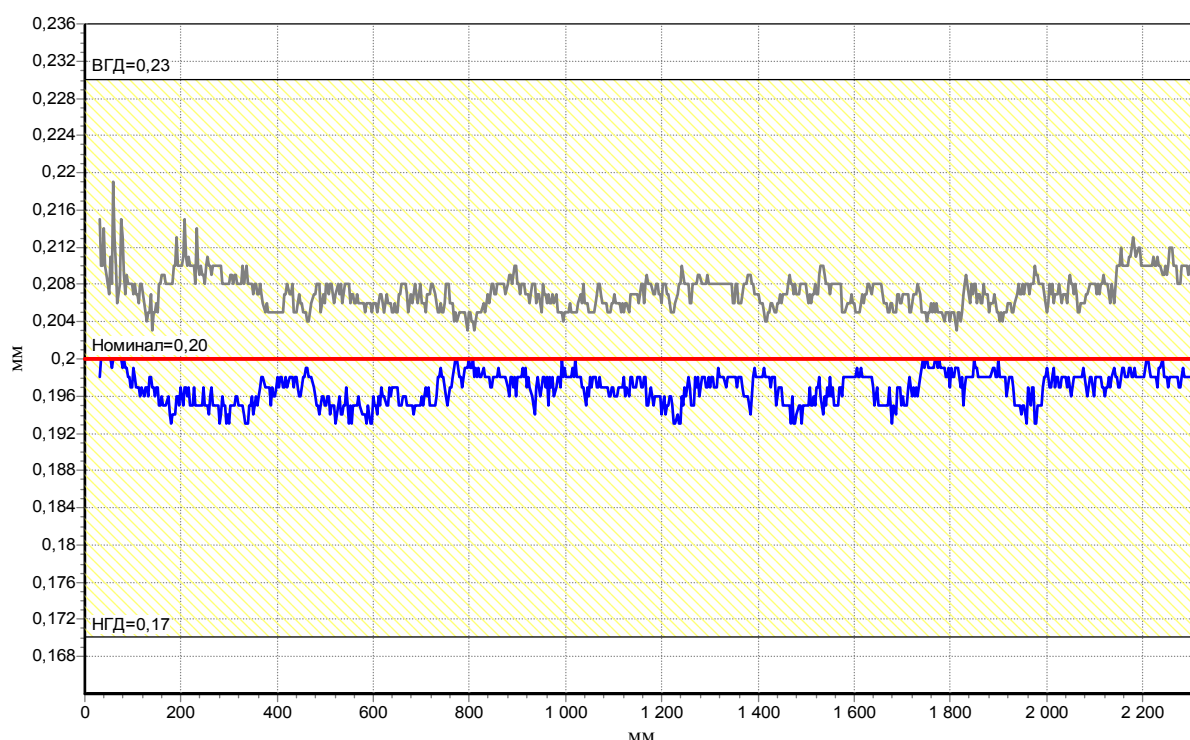


Рис.1. Результаты измерения толщины стенки трубы вн6,6 х 0,2 мм на установке УЗК ROTA 25

На рис.1 приведен типичный результат измерения толщины стенки трубы вн6,6х0,2 мм. Ось абсцисс представляет координату сечения, ось ординат – максимальную и минимальную толщину стенки в сечении. На рисунке желтым цветом выделено поле допуска по ТУ 14-159-293-2005, синяя линия соответствует минимальному, серая линия – максимальному размерам толщины стенки. Обозначения НГД и ВГД приняты для нижней и верхней границ поля допуска, соответственно.

По результатам измерений были определены средние значения максимальной и минимальной величин каждого параметра (толщины стенки, внутреннего и наружного диаметров), выборочная дисперсия, размах, корреляция между координатой сечения и размерами, и уравнение линейной регрессии, связывающее значение параметра и координату сечения, для

которого он определен. Это уравнение может быть полезным при анализе технологических причин возникновения отклонений размеров.

Для наглядности, результаты измерений каждой трубы представляли в виде гистограмм (рис.2). На рис.2 желтым цветом выделено поле допуска, зеленым – распределение максимального, серым – минимального значений толщины стенки трубы вн6,6х0,2 мм, красная линия – номинальный размер. Поле рассеивания размеров стенки по всей совокупности измерений для одной трубы составляет, как видно из рисунка, 31,7% от поля допуска. Смещение центров распределения характеризует величину поперечной разностенности, которая, как видно из рисунка, много меньше поля допуска.

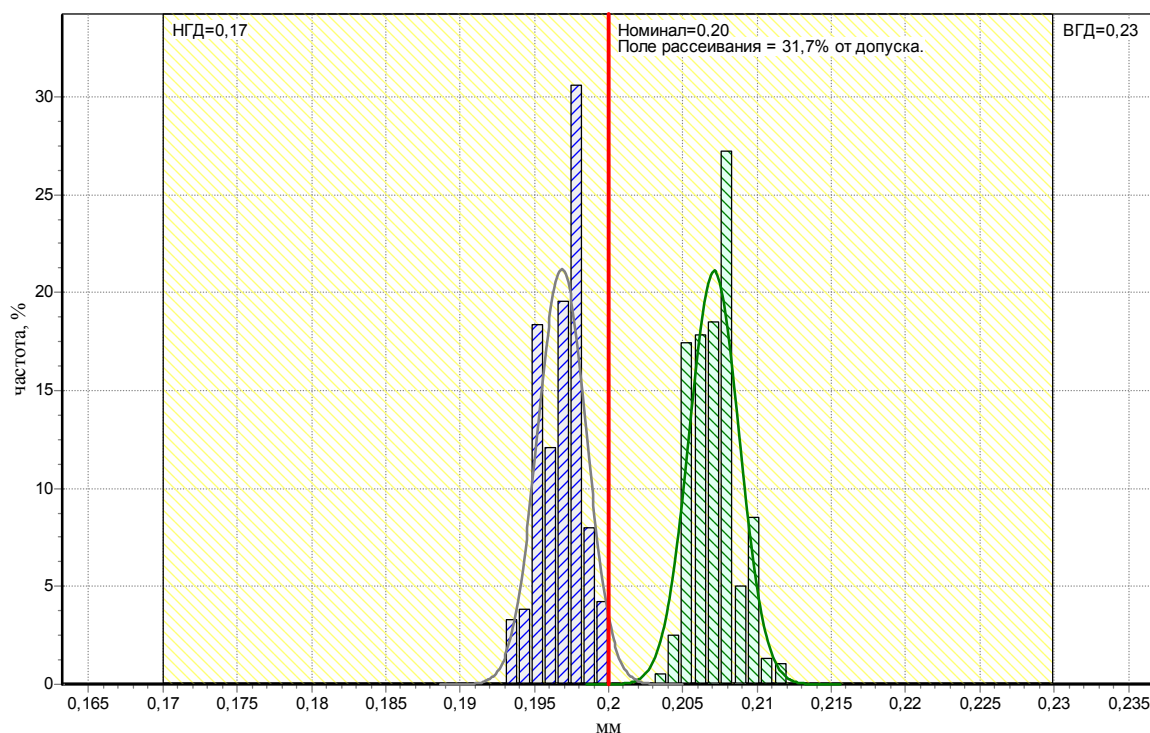


Рис. 2. Распределения максимального и минимального значений толщины стенки одной трубы вн6,6 x 0,2 мм.

На рис.3 приведен типичный результат измерения внутреннего диаметра трубы вн6,6x0,2 мм. На рис. 3 можно заметить единичные выбросы, определяемые помехами. Кроме того, наблюдается отклонение в начале регистрации от остальных измерений. Это отклонение связано с особенностями работы прибора. Методики обработки результатов

измерений позволяют исключить резко выделяющиеся значения из ряда измерений без нарушения статистической достоверности. В частности, применяя правило «трех сигм» [7], удастся исключить и случайные выбросы, и концевой эффект.

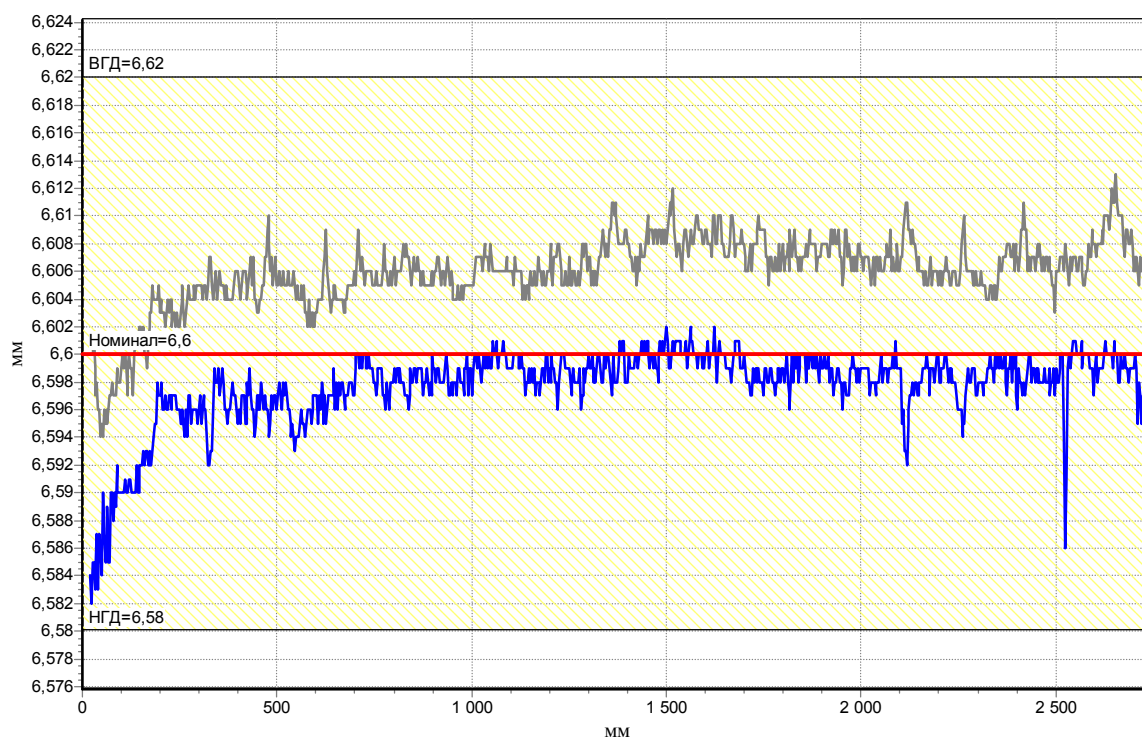


Рис. 3. Результат измерения внутреннего диаметра трубы вн6,6 x 0,2 мм на установке УЗК ROTA25.

На рис. 4 в виде гистограмм показано распределение максимального и минимального значений внутреннего диаметра после очистки от резко отклоняющихся значений. Как видно из рис.4, поле рассеивания размеров внутреннего диаметра по всей совокупности измерений для

одной трубы составляет 42,5% от поля допуска. Смещение центров распределения характеризует величину овализации сечения трубы, которая, как видно из рисунка, много меньше поля допуска по диаметру.

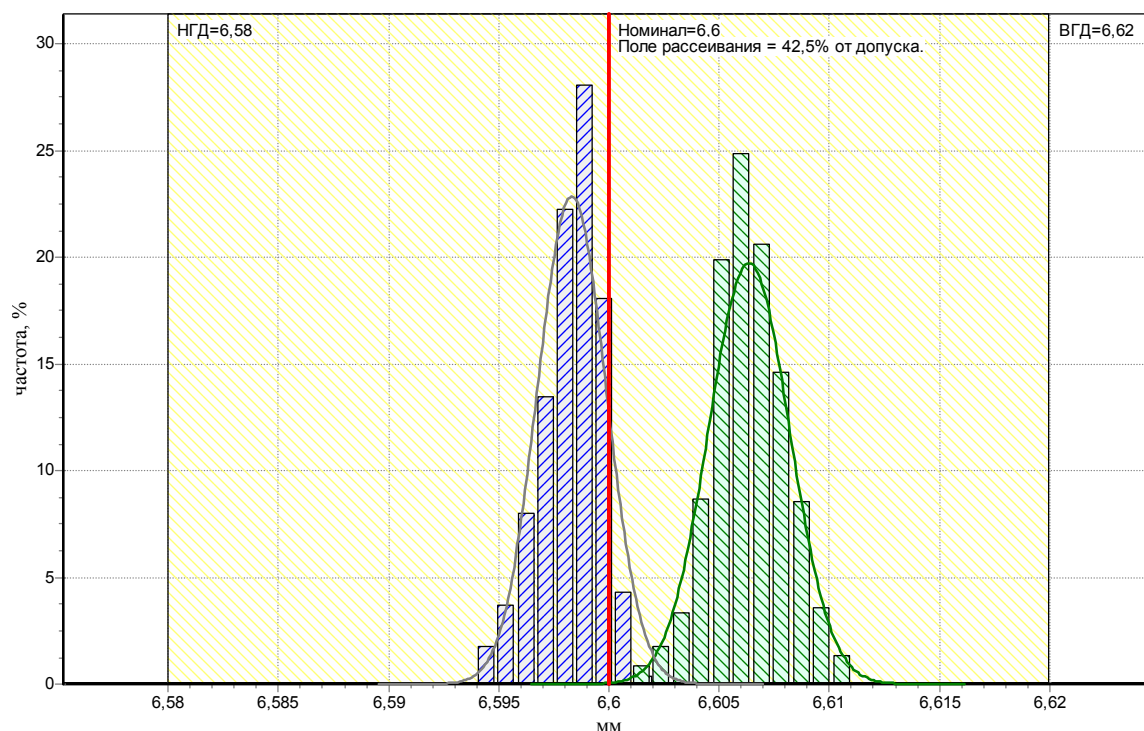


Рис. 4. Распределения максимального и минимального значений внутреннего диаметра трубы вн6,6 х 0,2 мм после очистки.

Для перечисленных выше партий последовательно для каждой трубы проведены измерения внутреннего диаметра, очистка результатов измерений от случайных выбросов и последующая статистическая обработка.

Кроме этого, на каждой трубе определены *наибольшая величина максимального диаметра* и *наименьшая величина минимального диаметра*. Эти величины ограничивают сверху поле разброса значений для максимального диаметра и снизу - поле разброса минимального диаметра. Таким образом, поле разброса всех значений диаметра полностью заключено между этими двумя величинами. Выход этих величин за границы поля допуска является бракующим признаком, то есть свидетельствует, что на данной трубе имеется хотя бы одно сечение, в котором диаметр статистически достоверно не удовлетворяет допуску.

Аналогично проанализированы результаты измерений наружного диаметра и толщины стенки.

Результаты исследования. Точность изготовления труб характеризовали разбросом результатов измерений для каждой трубы в партии. Этот разброс представлен в процентах от поля допуска.

Например, в худшей из партий, изготовленных по новой технологии (партия 2), наибольшее значение разброса по внутреннему диаметру составило 75 % и 77,7% от поля допуска

по ТУ 14-159-293-2005 в двух случаях - трубы №14 и №41. Остальные результаты не выходили за пределы 70% ПД. Это свидетельствует о гарантированной высокой точности по внутреннему диаметру труб в партии 2. Овальность внутреннего канала так же не выходит, в соответствии с ТУ 14-159-293-2005, за пределы допуска по диаметру. Разброс толщины стенки для труб в партии 2 не превышает 37% от поля допуска, что несколько выше, чем в партии 1, но, тем не менее, обеспечивает гарантированную точность толщины стенки всех труб этой партии.

Для сравнения точности труб, изготовленных по новой технологии, с точностью труб, изготовленных по старой технологии, рассмотрели аналог – трубы особо высокой точности по ТУ 14-3-1070-81. Допуски на толщину стенки по ТУ 14-159-293-2005 и по ТУ 14-3-1070-81 одинаковы и составляют $\pm 0,03$ мм. Допуск на внутренний диаметр труб 15х0,5 техническими условиями ТУ 14-3-1070-81 не регламентируется, и он был условно принят равным допуску по ТУ 14-159-293-2005. Допуск по наружному диаметру был взят в соответствии с ТУ 14-3-1070-81. Кроме того, проверили результаты измерения наружного диаметра на соответствие ТУ 14-159-293-2005.

В партии 4 максимальное значение разброса по внутреннему диаметру составило 172,5% от

поля допуска по ТУ 14-159-293-2005, а остальные результаты оказались не менее 137,5% ПД. То есть, все трубы партии 4 не удовлетворяют требованию точности размера внутреннего диаметра. Овальность внутреннего канала всех труб также вышла за пределы допуска по ТУ 14-159-293-2005. Разброс толщины стенки труб в партии 4 находится в пределах от 65,0% до 93,3% от поля допуска, что существенно хуже этого показателя для партий 1 и 2.

Таким образом, результаты анализа свидетельствуют о невозможности при использовании старой технологии гарантировано

получать трубы, удовлетворяющие требованиям ТУ 14-159-293-2005.

Стабильность качества труб оценивали изменением точности внутри каждой партии и выходом границ разброса размеров за пределы допуска. Состояние стабильности иллюстрируется диаграммами на рисунках 5– 9. На диаграммах приведены границы максимального и минимального диаметров, а также максимальной и минимальной толщины стенки в партиях и соотношение этих характеристик с полем допуска.

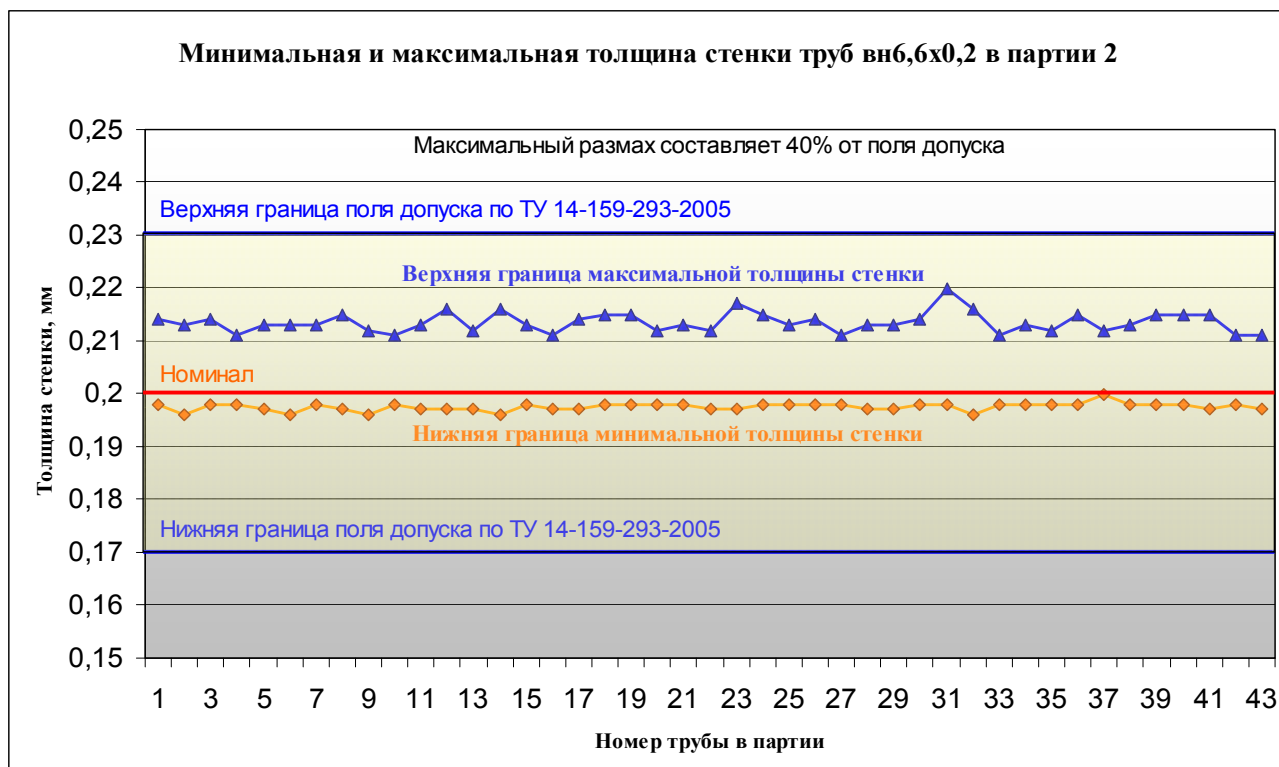


Рис. 5. Стабильность толщины стенки труб внб,6х0,2 (партия 2)

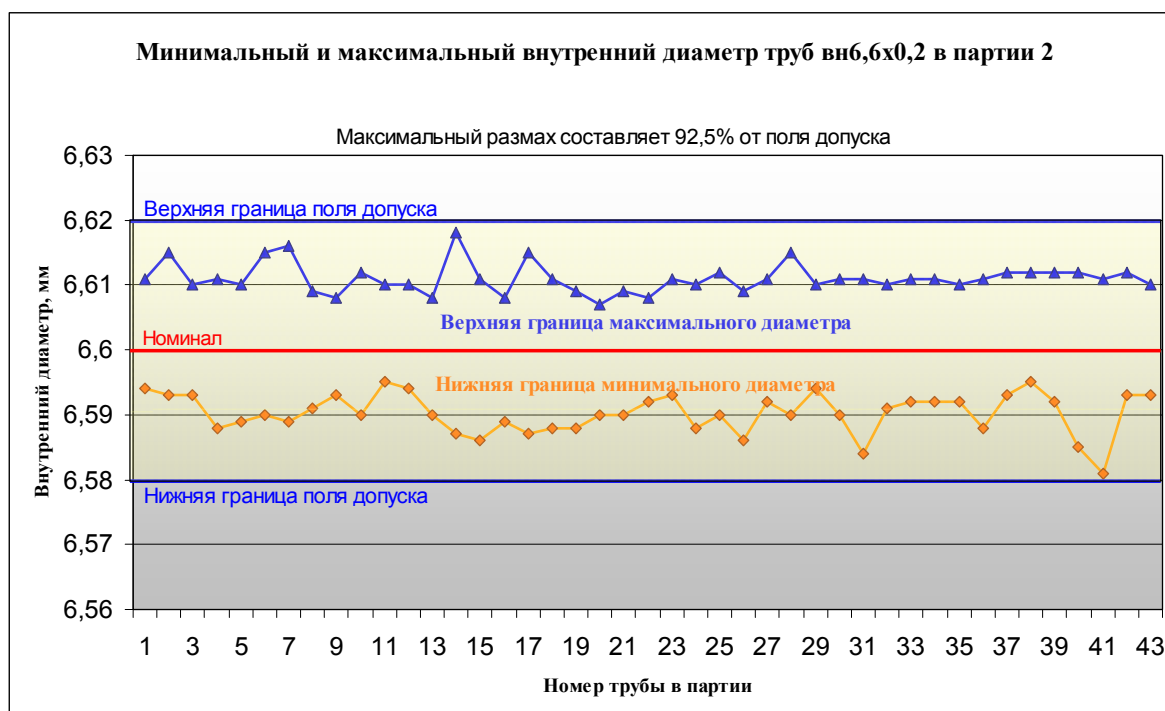


Рис. 6. Стабильность размера внутреннего диаметра труб внб,6х0,2 (партия 2)

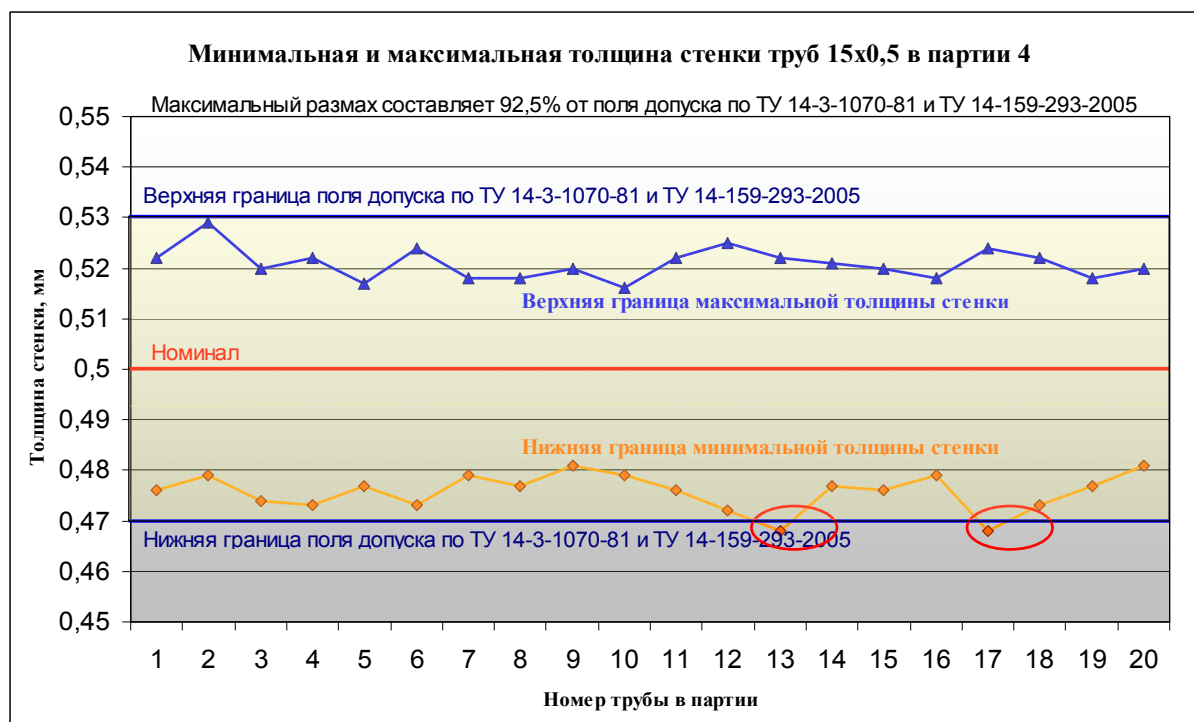


Рис. 7. Стабильность толщины стенки труб 15х0,5 (партия 4).

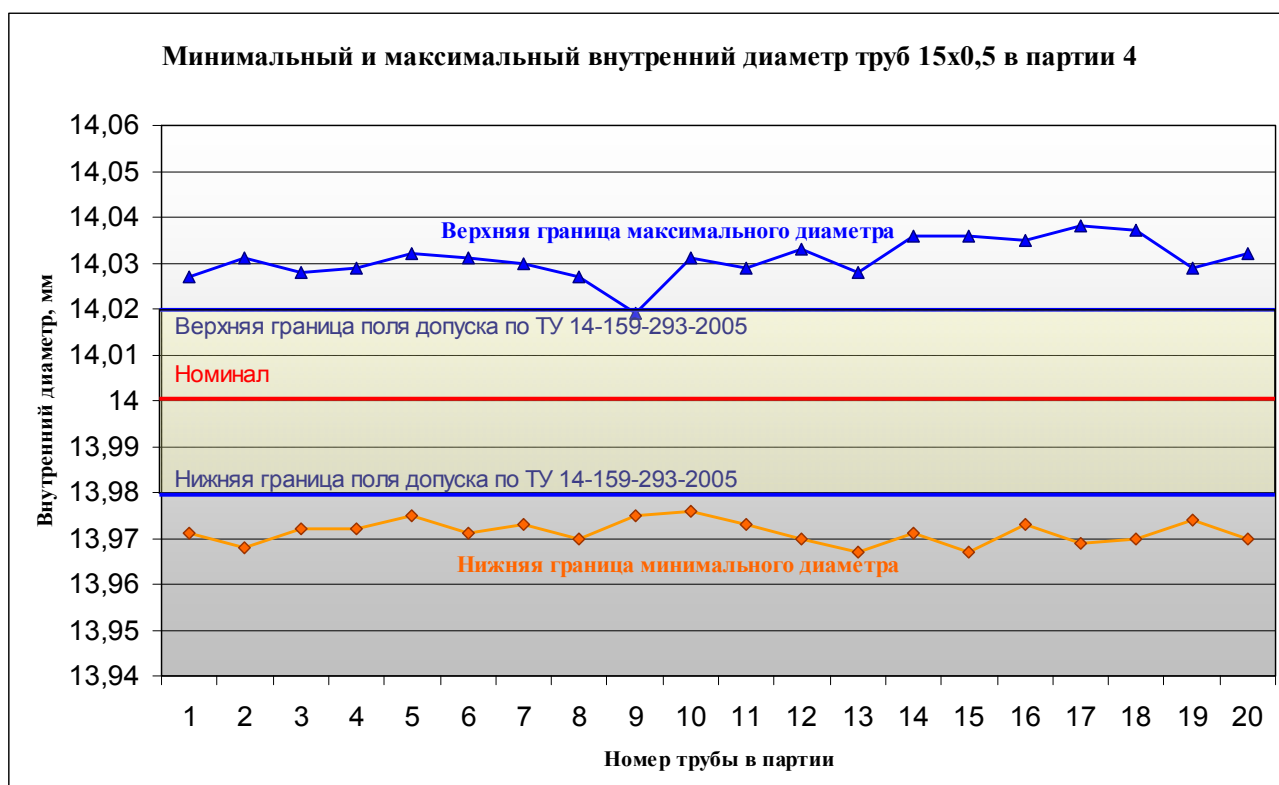


Рис. 8. Стабильность размера внутреннего диаметра труб 15х0,5 (партия 4)

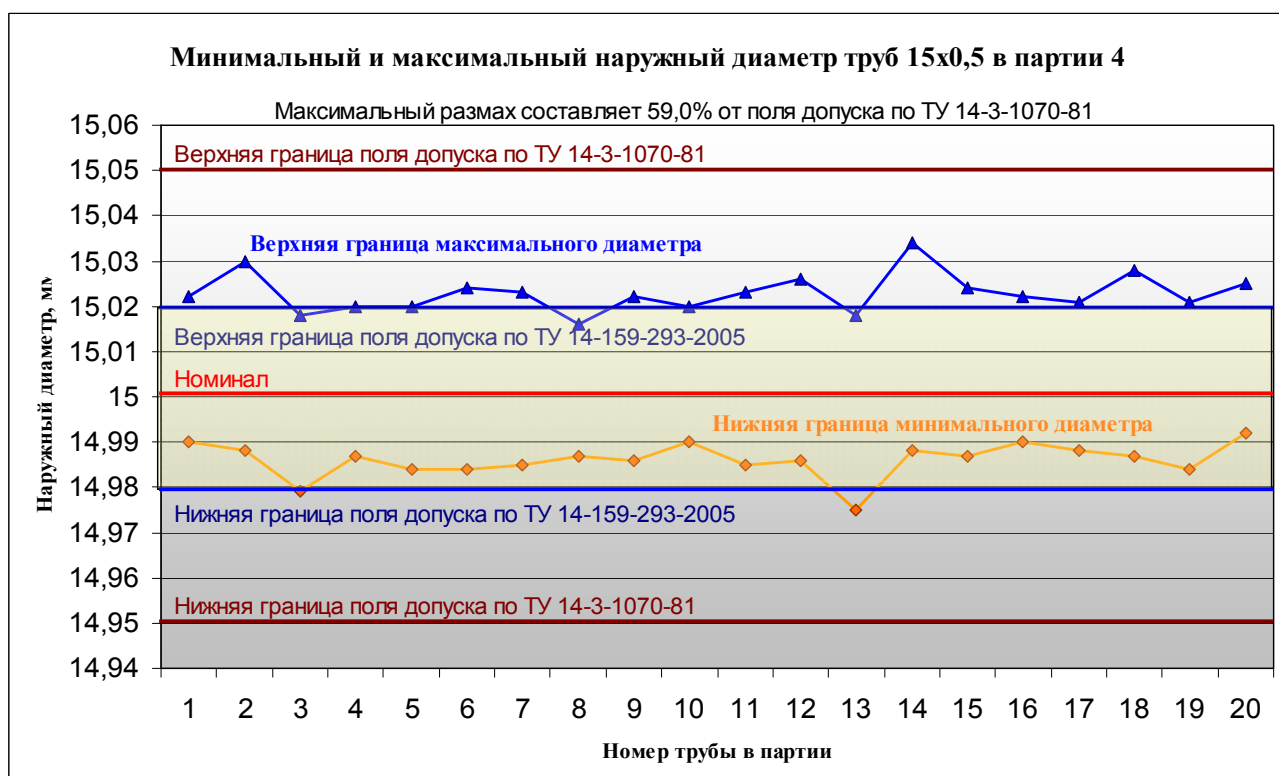


Рис. 9. Стабильность размера наружного диаметра труб 15х0,5 (партия 4)

На диаграммах указан размах контролируемого параметра – разность максимального и минимального размера в партии.

На рис. 5 показана стабильность минимальной и максимальной толщины стенки в партии 2. По диаграмме на рис.5 можно заключить, что при достигнутом уровне стабильности и правильной настройке на номинальный размер выход за пределы допуска по толщине стенки практически не возможен.

На рис.6 показана стабильность минимального и максимального внутренних диаметров трубы в партии 2. По диаграмме на рис. 6 можно заключить, что при достигнутом уровне стабильности требуется тщательная настройка на номинальный размер, чтобы уменьшить вероятность выхода внутреннего диаметра за пределы допуска по ТУ 14-159-293-2005.

На рис.7 показана стабильность минимальной и максимальной толщины стенки в партии 4, по которой осуществлялось сравнение старого и нового вариантов технологии. По диаграмме на рис.7 можно заключить, что при достигнутом уровне стабильности и правильной настройке на номинальный размер вероятность выхода за пределы допуска по толщине весьма высока. В анализируемой партии по меньшей мере две трубы должны быть забракованы по требованиям по ТУ 14-159-293-2005.

На рис. 8 показана стабильность минимального и максимального внутренних диаметров трубы в партии 4. По диаграмме на рис.8 можно заключить, что при достигнутом уровне стабильности никакой настройкой на номинальный размер нельзя обеспечить удовлетворение требованиям ТУ 14-159-293-2005 на допуск по внутреннему диаметру.

На рис.9 показана стабильность минимального и максимального наружных диаметров трубы в партии 4. По диаграмме на рис.9 можно заключить, что при достигнутом уровне стабильности никакой настройкой на номинальный размер нельзя обеспечить удовлетворение требованиям ТУ 14-159-293-2005 на допуск по наружному диаметру.

Аналогичные результаты получены на партиях 1, 3 и 5.

Выводы

1. Предлагаемая технология обеспечивает *точность* размеров труб в соответствии с требованиями ТУ 14-159-293-2005 и *гарантирует* эту точность. Данное утверждение основывается на том, что анализ выполнен по предельным граничным значениям размеров.

2. При *использовании старой технологии*, никакая настройка на номинальный размер не позволит обеспечить требуемую по ТУ 14-159-293-2005 точность внутреннего диаметра.

3. Поле рассеивания *толщины стенки* труб, изготовленных по новой технологии, для всех партий не превышает 40% от поля допуска, определенного ТУ 14-159-293-2005, что гарантирует, при достигнутом уровне стабильности, отсутствие брака по толщине стенки.

4. Трубы, изготовленные по старой технологии, имеют разброс толщины стенки свыше 85% от поля допуска, что потребует очень тщательной настройки оборудования на номинальный размер для получения удовлетворительных результатов. Но и при этом условии, на достигнутом уровне стабильности такой разброс будет приводить к появлению брака по толщине стенки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кофф, З.А. Холодная прокатка труб [Текст] / З.А.Кофф [и др.]. - Свердловск: Metallurgizdat, 1962. - 431 с.

2. Орро, П.И. Производство стальных тонкостенных бесшовных труб [Текст] / П.И.Орро, Я.Е.Осада. - Харьков: Metallurgizdat, 1951. - 417 с.

3. Кузнецов, Е.Д. Обеспечение точности труб при прокатке с повышенными подачами [Текст] / Кузнецов Е.Д. // Сталь. - 1988. - №12. - С.80-84.

4. Семенов, О.А. Интенсификация процессов холодной прокатки труб [Текст] / О.А.Семенов [и др.] // Сталь. - 1986. - №2. - С.63-68.

5. ГОСТ 16493-70. Качество продукции. Статистический приемочный контроль по альтернативному признаку. Случай недопустимости дефектных изделий в выборке [Текст].- Введ. 1972-01-01.

6. ISO 10017:2003. Руководство по статистическим методам применительно к ИСО 9001:2000 [Текст] = Guidance on statistical techniques for ISO 9001:2000.

7. Шторм, Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества [Текст] / Р.Шторм. - М.: Мир, 1970.

8. ГОСТ 8.207-76. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения [Текст]. - Введ. 1977-01-01.

9. ГОСТ 11.006-74. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим [Текст]. - Введ. 1975-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 1975.

10. ГОСТ 8.508-84. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации ГСП. Общие методы оценки и контроля [Текст]. - Введ. 1985-07-01.