

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННЫХ ТРУБ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ

Ан.В.Серебряков¹, Е.Л.Шулин¹, Ал.В.Серебряков², А.А.Богатов²

¹ ОАО «Первоуральский новотрубный завод»

² Уральский федеральный университет

На растущем рынке труб для энергетического и химического машиностроения сокращается доля отечественных трубных заводов. Это сокращение обусловлено высокой себестоимостью и несоответствием выпускаемых труб новым, более высоким, требованиям потребителя к точности их размеров и качеству поверхности, что связано с применяемой технологией.

Проблема качества поверхности труб актуальна в целом. Качество поверхности является обязательным требованием нормативно-технической документации. Требования технических условий и стандартов к качеству поверхности устанавливаются эталонами, фотоэталоны или требованиями к внешнему виду поверхности, определяемому способом дополнительной обработки: осветляющая химическая обработка - пассивирование (ГОСТ 24030-80, ГОСТ 9941-81, ГОСТ 10498-82 и др.); абразивная обработка - шлифование или полирование (ГОСТ 19277-73, ГОСТ 10498-82, ТУ 14-ЗР-197-2001 и др.); безокислительная термическая обработка в водороде, других защитных газах и вакууме (ГОСТ 24030-80, ГОСТ 10498-82 и др.); анодно-гидравлическая обработка - электрохимическое полирование (ГОСТ 40498-82, ТУ 14-ЗР-197-2001, ГОСТ 24030-80). Характеристики качества поверхности в основном исчерпываются перечислением видов недопустимых и допустимых дефектов, ограничением их количества и глубины [1].

Таким образом, нормы и показатели качества поверхности, определяемые требованиями стандартов, регламентируют перечень операций дополнительной обработки поверхности и косвенно отражают эксплуатационные свойства труб. Способ дополнительной обработки труб определяет микрорельеф и шероховатость поверхности.

Шероховатость внутренней поверхности труб обуславливает образование на ней отложений, удаление которых является сложной задачей при эксплуатации теплообменной аппаратуры, применяемой в энергетике и химической промышленности. От качества поверхности зависит так же сопротивление материала зарождению трещин при малоцикловой усталости и термоциклировании под напряжением, гидравлическое сопротивление в трубных системах, коэффициент отражения и т.д.

Исследованиями НПО ЦНИИТМАШ установлено, что изменение маханообработкой качества (рост шероховатости) поверхности деталей из стали 03X18H11 на порядок снижает сопротивляемость стали межкристаллитной коррозии (МКК) и коррозионному растрескиванию (КР). При этом стоит отметить, что сталь 03X18H11 специально разработана против МКК и КР. Таким образом, качество поверхности имеет не меньшее значение, чем механические свойства труб.

Применяемая технология производства труб из коррозионностойких сталей с повышенными требованиями к качеству поверхности предусматривает прокатку их на валковых (ХПТ), роликовых (ХПТР) станах, безоправочное волочение и дополнительную обработку поверхности. Дополнительная обработка поверхности труб производится путем образивного шлифования и электрохимического полирования для удаления дефектного поверхностного слоя металла. После образивного шлифования на поверхности остаются риски, которые определяют ее структуру и шероховатость. Электрохимическое полирование сглаживает микрорельеф поверхности, однако дефекты в виде складок, рисок и включений сохраняются, в некоторых случаях их размеры могут увеличиться. К тому же, операции шлифования и полирования, в принципе не позволяют получать трубы высокой точности размеров и увеличивают затраты.

Следует отметить, что операция электрохимической обработки возникла как метод позволяющий лучше выявлять недопустимые дефекты поверхности при визуальном контроле труб. При ультразвуковом контроле труб, выявляющем не только видимые, но и невидимые при осмотре дефекты, эта операция утратила смысл [1].

Итак, задача заключается в получении гладкой и бездефектной поверхности труб в процессе деформации. Для процессов обработки металлов давлением, в частности прокатки и волочения труб, характерно адгезионное взаимодействие металла с инструментом. Это взаимодействие приводит к переносу (налипанию) металла заготовки на инструмент, последствиями которого являются разрушение поверхностного слоя металла (задиры, риски, микротрещины) и, как следствие,

необходимость дополнительной обработки (шлифование, полирование) поверхности труб. Для труб из коррозионностойкой стали проблема усугубляется тем, что из-за наваривания металла на инструмент невозможно осуществить оправочное волочение указанных труб.

Проблема налипания – общая для всех процессов обработки металлов. В этой области необходимы дополнительные знания о влиянии состава материала трубы и инструмента, его физических свойств, химического состава смазки и т.п. на такие явления как прорыв пленки смазки и налипание металла заготовки на инструмент. Разработка менее склонных к налипанию систем инструмент - смазка - металл расширит возможности ряда процессов, и в частности, оправочного волочения труб, которое позволит получать трубы с высокочистой внутренней поверхностью и высокой точностью размеров.

Концепция решения заключается в применении материала инструмента с заданными по отношению к металлу свойствами, что обеспечивает качественные изменения механизма фрикционного взаимодействия между металлом и инструментом. Это изменение заключается в том, что разрушение мостиков сварки между металлом и инструментом, обусловленное скольжением металла по инструменту, происходит не в поверхностном слое металла, а по границе контакта инструмент – металл, и представляет собой не когезионное разрушение металла, а разрыв адгезионной связи на этой границе. В результате исключается разрушение поверхностного слоя металла и нарушение чистоты (рост шероховатости) поверхности труб.

Решение этой задачи составило основу нового технологического процесса производства прецизионных холоднодеформированных труб из коррозионностойкой стали с субмикронной чистотой поверхности канала. Новая технология апробирована при изготовлении и поставке промышленной партии объемом 18,5 тыс. метров труб размерами 6,0 x 1,0 – 55 x 2,5 мм из стали 02X17H14M2-ИДД, по ТУ 14-159-213-92 для систем транспортировки сверхчистых сред в полупроводниковой промышленности. Для иллюстрации возможностей нового технологического процесса ниже приведены данные сравнительного

анализа качества поверхности труб, поставляемых по существующей и новой технологии.

Качество поверхности канала труб исследовали на растровом электронном микроскопе РЭМ-200 в режиме вторичных электронов. Увеличение варьировалось от 80 до 1200 крат. Область просмотра поверхности составляла 5...10 мм в продольном, 2...3 мм в поперечных направлениях образца. Наиболее характерные участки поверхности фотографировались при увеличениях 80 и 400. Результаты представлены на рис. 1-4.

Для количественной оценки качества поверхности использовали параметры шероховатости R_{\max} и R_a по ГОСТ 2789-73. Параметр R_{\max} определяет наибольшую высоту профиля и характеризует функциональные свойства поверхности. Параметр R_a подвержен наименьшему рассеиванию и использован для сравнения поверхностей.

Профиль и параметры R_{\max} , R_a шероховатости поверхности определяли на профилографе -профилометре модели 252 (тип А1 ГОСТ 19299-73 и ГОСТ 19300-73). Профиль поверхности регистрировался с помощью прибора с электротермической записью в прямоугольной системе координат. Вертикальное увеличение профилографа составляла 5000 и 50000, горизонтальное – 100 и 200. Профилограммы поверхности канала труб представлены на рис. 1-4. Параметр R_{\max} определяли по профилограмме поверхности на длине равной трем базовым; для труб по ТУ 14-3Р-197-2001, соответственно, - двум базовым. Измерения параметра R_a производились при следующих условиях: длина трассы – 3 мм, отсечка шага – 0,25 мм, предел измерения 0,10 мм; для труб по ТУ 14-3Р-197-2001, соответственно, - 3 мм, - 0,80 мм, - 10 мкм. Результаты измерений приведены на рис. 1-4.

На рис. 1 показана поверхность канала труб 12 x 1,0 мм из стали 08X18H10T, поставляемых по ГОСТ 9941-81. Видны продольные складки (после безоправочного волочения) и углубления по границам зерен (после травления), которые определяют профиль и параметры шероховатости: $R_{\max}=8,0...21,0$ мкм, $R_a=0,86...2,04$ мкм.

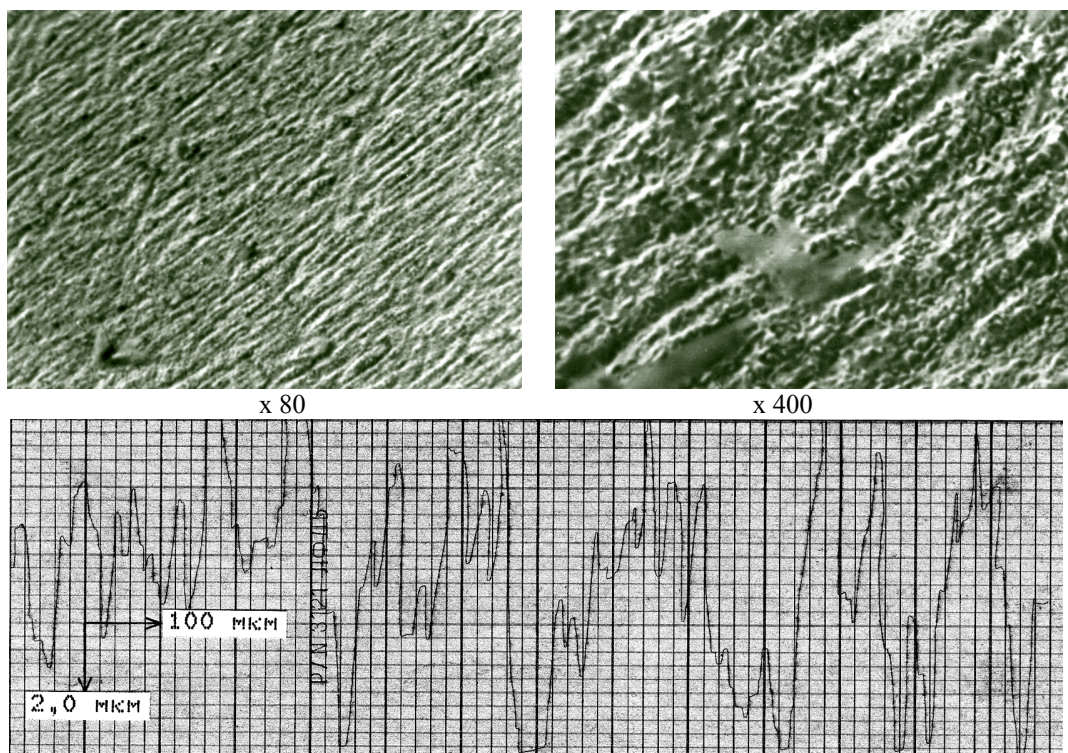


Рис. 1. Микрофотография и профилограмма поверхности канала труб 12x1,0мм из стали 08X18H10T, поставляемых по ГОСТ 9941-81. Параметры шероховатости: $R_{\max}=8,0\ldots21,0$ мкм, $R_a=0,86\ldots2,04$ мкм

На рис.2 показана поверхность канала труб 22 x 2,0 мм из стали 08X18H10T, поставляемых по ТУ 14-3Р-197-2001. Видны следы абразивного шлифования в форме коротких рисок и ямок;

точечные вытравленные неметаллические включения. Следы абразивного шлифования определяют профиль и параметры шероховатости: $R_{\max}=7,0\ldots12,0$ мкм,

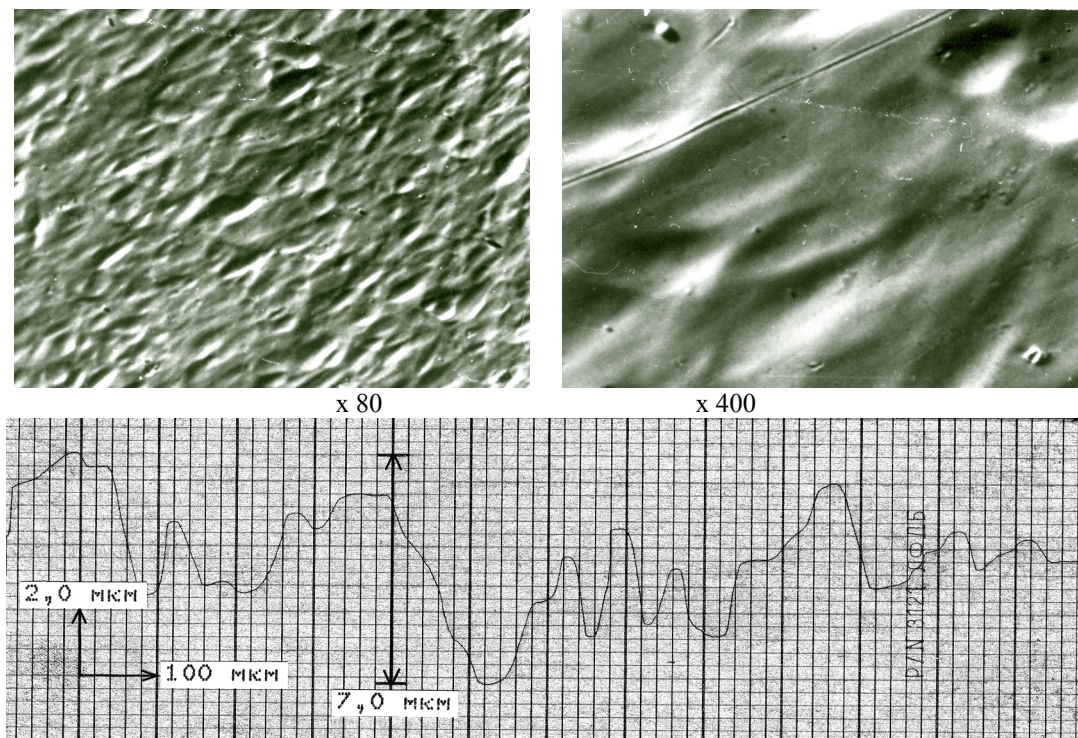


Рис. 2. Микрофотография и профилограмма поверхности канала труб 22x2,0мм из стали 08X18H10T, поставляемых по ТУ 14-3-197-89. Параметры шероховатости: $R_{\max}=7,0\ldots12,0$ мкм, $R_a=0,98\ldots1,54$ мкм.
 $R_a=0,98\ldots1,54$ мкм.

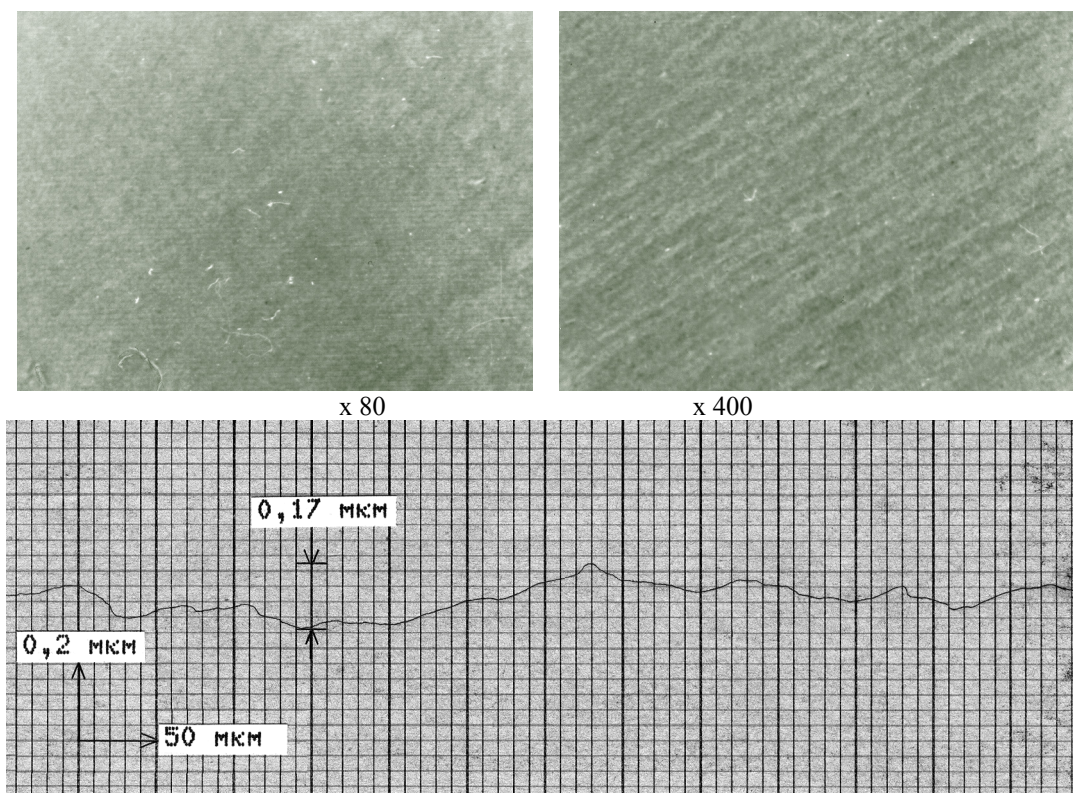


Рис. 3. Микрофотография и профилограмма поверхности канала труб 12x1,0мм из стали 02x17H14M2-ИДД, изготовленных по новой технологии. Параметры шероховатости: $R_{max}=0,17...0,47$ мкм, $R_a=0,054...0,195$ мкм.

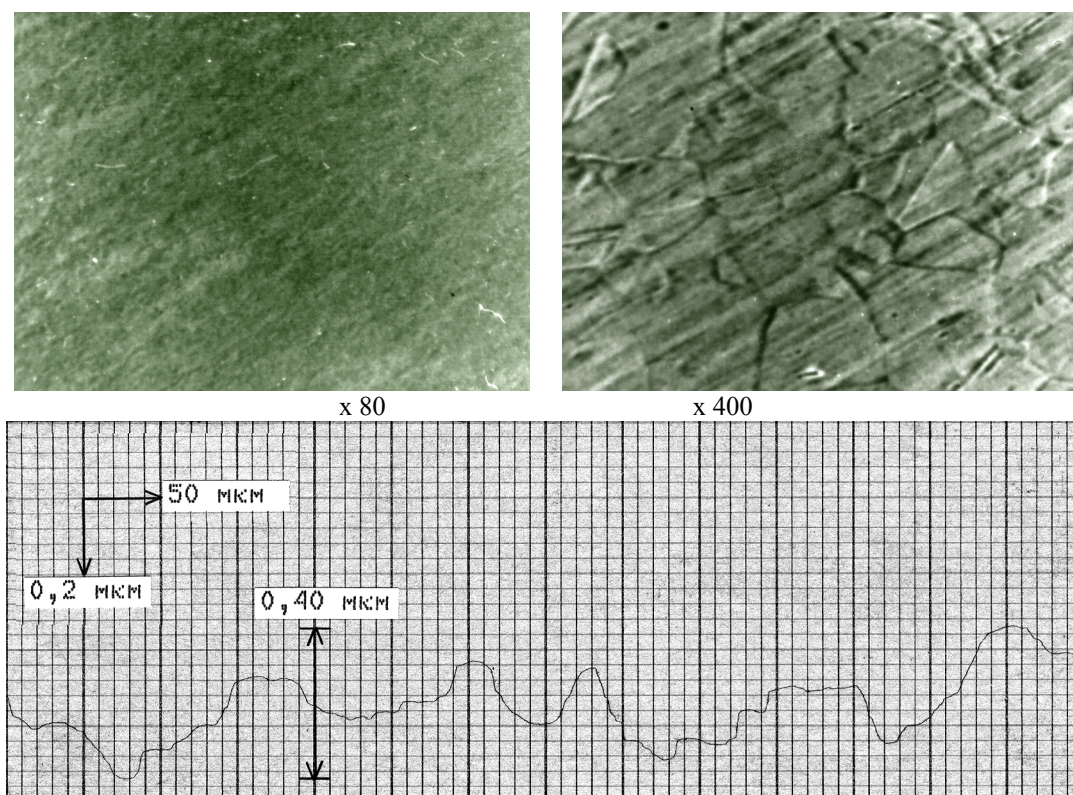


Рисунок 4 - Микрофотография и профилограмма поверхности канала труб 12x1,0мм из стали 3R60, поставленных по импорту (SANDVIK CALAMO—E—TUBE). Параметры шероховатости: $R_{max}=0,40...0,50$ мкм, $R_a=0,063...0,185$ мкм.

На рис.3 показана поверхность канала труб 12 x 1,0 мм из стали 02X17H14M2-ИДД, изготовленных по новой технологии для систем транспортировки сверхчистых сред. Как видно, поверхность однородна и не имеет дефектов, характеризуется практически полным выравниванием профиля. Параметры шероховатости данной поверхности: $R_{\max}=0,17\ldots0,47$ мкм, $R_a=0,054\ldots0,195$ мкм.

На рис.4 показана поверхность канала труб 12 x 1,0 мм из стали 3R60, поставленных по импорту для систем транспортировки сверхчистых сред. Видны следы продольных рисок, границы зерен, точечные и строчечные вытравленные неметаллические включения. Параметры шероховатости: $R_{\max}=0,40\ldots0,50$ мкм, $R_a=0,063\ldots0,185$ мкм.

Как видно из приведенных данных, по сравнению с существующей новая технология позволяет получить поверхность канала труб субмикронной чистоты.

Новая технология также использована при изготовлении и поставке партии объемом более 12 тыс. метров труб размером 5-12 x 0,2 мм из стали ЭИ 847-ИД по ТУ 14-3-1070-81. Точность размеров поставленных труб по внутреннему и наружному диаметрам соответствует $\pm 0,02$ мм. Для сравнения, на трубы особовысокой точности требования ТУ 14-3-1070-81 устанавливают предельные отклонения по диаметру $\pm 0,04$ мм.

Кроме того, использована при изготовлении опытно-промышленной партии объемом 1 тыс. метров труб размером 6,9 x 0,4 мм из сплава ЧС-68 по ТУ 14-3-1511-87 для стендовых испытаний в реперной сборке.

Трубы с субмикронной чистотой поверхности канала – это трубы с новыми потребительскими (эксплуатационными) свойствами. Применение таких труб в энергетическом и химическом машиностроении обеспечит повышение ресурса и надежности работы трубных систем. Такие трубы можно использовать также в других областях высоких технологий: в системах газоснабжения стартовых ракетных комплексов, в биотехнологии, в медицинской промышленности, в производстве продуктов питания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В.Ф. Фролов, О.А. Семенов, Т.В. Сенина и др. Оценка качества поверхности холоднодеформированных труб. - М.: «Сталь», 1991. №2. с. 256.