

УДК 621.774.09:621.21

Буряк Т.Н., Вахрушева В.С., Тараненко А.А.

РОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТРУБ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ МАРОК СТАЛИ И СПЛАВОВ В ФОРМИРОВАНИИ КАЧЕСТВЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Виконано дослідження якості поверхні в трубах після різноманітних технологічних операцій. Розроблені технології, що дозволяють отримувати прецизійні труби з високим класом чистоти поверхні R_a менше 1 мкм.

Выполнено исследование качества поверхности в трубах после различных технологических операций. Разработаны технологии, позволяющие получать прецизионные трубы с высоким классом чистоты поверхности R_a менее 1 мкм.

Research of quality of surface is executed in tubes after different technological operations. Technologies, allowing to get precision tubes with the high class of cleanness of surface of R_a less than 1 mkm, are developed.

Введение

Опыт эксплуатации оборудования и трубопроводов, работающих под действием агрессивных сред в атомной энергетике, химической и пищевой промышленности, летательных и плавающих аппаратах, автомобильном транспорте, показывает, что их эксплуатационная надежность и долговечность существенно зависит от качества поверхности (ее чистоты, шероховатости и т. д.). В частности, именно состояние поверхности во многом определяет служебные свойства в т. ч. коррозионную стойкость труб и других изделий [1-5].

Технологии изготовления труб специального назначения для выше обозначенных отраслей включают последовательную цепь операций горячей и холодной деформации, термической и механической обработки, химико-технологической обработки (ХТО), что оказывает многофакторное и неоднозначное влияние на поверхность. Существующие стандартные методы и представления об оценке ее качества (перископия, профилометрия, оптическая микроскопия, ультразвуковой контроль и др.) не всегда позволяют достоверно оценить состояние поверхности с точки зрения эксплуатационной надежности труб.

Важным аспектом в решении поставленных задач является разработка адекватной методологии анализа состояния поверхности труб на основе комплексного подхода на всех этапах трубного производства с привлечением наукоемких методов исследований, например, растровой электронной микроскопии (РЭМ). До настоящего времени из-

вестно мало работ по исследованию качества поверхности труб в процессе всего технологического цикла.

Материал и методы исследования. Материалом исследования служили образцы от опытных партий труб из коррозионностойкой стали 08X18H10T и 03X17H14M3, сплава циркония Zr1Nb, отобранные после различных операций в процессе технологического передела. Трубы получены на промышленном оборудовании в заводских условиях по специально разработанным технологиям¹. При проведении исследований и трактовке их результатов задействованы методы световой и растровой электронной микроскопии (оценка микроструктуры и топографии поверхности) и профилометрии (оценка шероховатости поверхности).

Результаты выполненных исследований и разработок. Традиционно в холоднодеформированных трубах малых размеров из коррозионностойкой стали и сплавов применяют параметр шероховатости R_a (среднее арифметическое отклонение профиля), который нормирован в пределах $\leq 1,6-3,2$ мкм в соответствии с ГОСТ 2789-73 “Шероховатость поверхности. Параметры, характеристики и обозначения”, что соответствует классу 6-5. Однако в ряде случаев, например, при производстве труб для транспортировки сверхчистых газов, в пищевой или электронной промышленности, в тепловыделяющих элементах АЭС, рекомендованы более высокие категории качества ($R_a \leq 0,3-1,6$ мкм, класс 9-6). Достичь заданного уровня можно только за счет комплексного подхода к построению технологического процесса, включающего рациональный выбор способа выплавки металла, режимов холодной прокатки, термической обработки, отделки (ХТО, правки, шлифовки). Единого мнения относительно оптимального способа обработки поверхности не существует. При этом необходимость такой обработки признана всеми производителями в области труб из коррозионностойких сталей и сплавов.

В производственном цикле технологической инструкцией предусмотрен контроль качества труб на переделе, заключающийся в основном в осмотре поверхности. Традиционно при производстве прецизионных видов труб осуществляется визуальный осмотр наружной поверхности – на каждой трубе и внутренней поверхности – на каждой 5-й трубе. Готовые трубы подлежат осмотру 100%, наружная поверхность осматривается невооруженным глазом под лампой, а внутренняя – перископом с каждого конца. На поверхностях труб не до-

¹ В работе принимали участие сотрудники ГП «НИТИ» с.н.с. БЛАГОВА В.А. и с.н.с. ЯРОШЕНКО Н.В.

пускаються задиры, глубокие царапины, вмятины, травильная сыпь и другие глубокие дефекты. Контроль поверхности осуществляется визуально по образцам-эталонам или на продольных образцах – “лодочках” на профилографах – профилометрах.

На рис.1 проанализировано изменение параметра шероховатости R_a в процессе изготовления опытных партий труб из стали 08X18H10T размером $\varnothing 28 \times 1,5$ мм, $\varnothing 12 \times 1$ мм, $\varnothing 6 \times 1$ мм. Традиционно принято считать, что термическая обработка в защитной атмосфере или вакууме улучшает состояние поверхности. Поэтому на начальных этапах проводили термообработку в среде аргона, а по мере уменьшения размера труб и продвижения к финишным этапам перешли к среде водорода. Однако, как видно на графике термообработка

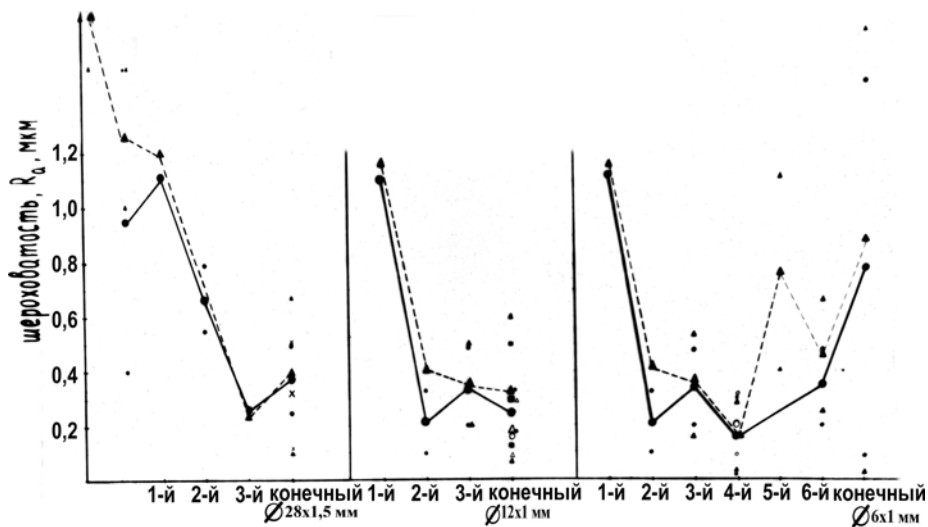


Рисунок 1 - Влияние технологических факторов на шероховатость поверхности в процессе изготовления труб из стали 08X18H10T: • – холоднодеформированная труба; ▲ – термообработанная труба; ■ – 1-кр электрополировка; × – 3-кр электрополировка; ○ – 4-кр электрополировка; Δ – 10-кр электрополировка

даже в защитной атмосфере приводит к незначительному увеличению параметра шероховатости. Для исправления ситуации трубы размером 12×1 мм были подвергнуты электрохимической полировке. Однократная операция против ожидаемого привела к ухудшению поверхности и только 4-х и 10-ти кратная электрохимполировка позволила существенно уменьшить шероховатость (рис. 1).

Помимо технологических факторов существенное влияние оказывает структура металла. В этой связи с помощью световой микроскопии и профилометрии получены взаимоувязанные результаты по влиянию структуры на качество поверхности труб размером 12×1 мм из стали 03X17H14M3 различного способа производства (газо-

кислородного рафинирования (ГКР) и центробежного литья в вакууме (ВЦБЛ)). Установлено, что объемная доля неметаллических включений составляет 0,125-0,156% в металле ГКР и 0,107-0,288% в металле ВЦБЛ. Включения выходящие на поверхность трубы ухудшают ее состояние. Прослеживается прямая зависимость по значениям параметра шероховатости, который составляет $R_a=0,21-0,48$ мкм в трубах из металла ГКР и $R_a=0,13-0,58$ мкм из металла ВЦБЛ.

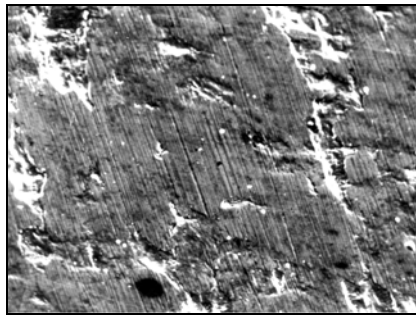
В целом, можно утверждать, что разработанные технологии позволяют получить сверхчистые трубы из коррозионностойкой стали высоким классом чистоты поверхности, где R_a менее 1 мкм.

Для получения более объективных данных, по влиянию различных технологических факторов на состояние поверхности были выполнены топографические исследования с помощью РЭМ на образцах от труб (рис. 2).

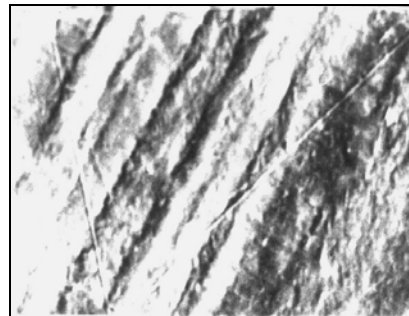
Как известно, в качестве заготовки поступающей на холодный передел используют горячедеформированную трубу после механической обработки (расточки-обточки) с шероховатостью поверхности $R_a=3,2$. На поверхности такой трубы наблюдается зернограничный рельеф с царапинами и рисками в состоянии после горячей деформации, а также, следы от резца после расточки-обточки, точечные дефекты, связанные с наличием в структуре включений.

После холодной прокатки на поверхности имеются риски, царапины, растрескивание по границам зерен, незначительные вдавы или задиры (рис. 2 а, б), являющиеся следствием контакта металла прокатываемой трубы и инструмента. Термическая обработка в защитной атмосфере или вакууме способствует раскрытию границ зерен с углублением дефектов, что и приводит к увеличению параметра шероховатости в трубах (рис. 2 в, г).

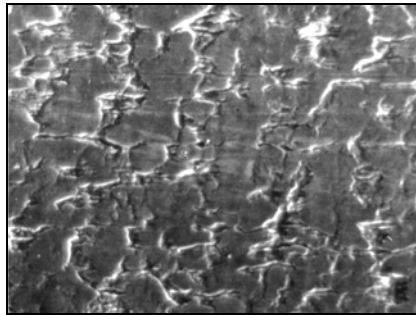
Операции, назначение которых носит ремонтный или улучшающий характер, также могут способствовать повреждению поверхностных слоев труб. Так, например, при выполнении правки наносятся риски, вмятины и царапины. Химическое травление может приводить к появлению дефектов на поверхности в виде растратов (рис. 2 е). Шлифовка (рис. 2 д) или многократная электрохимическая полировка (рис. 2 з) заметно выравнивают поверхность, как бы сглаживая рельеф и тем самым, улучшая ее состояние. Однако полностью исключить неровности, которые остались от неметаллических включений, не удалось.



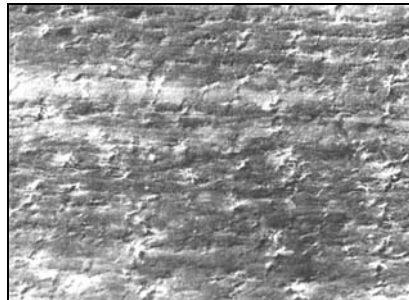
а ×1000



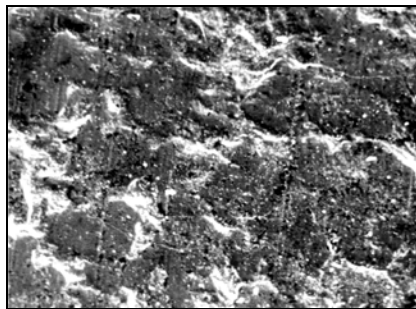
б ×636



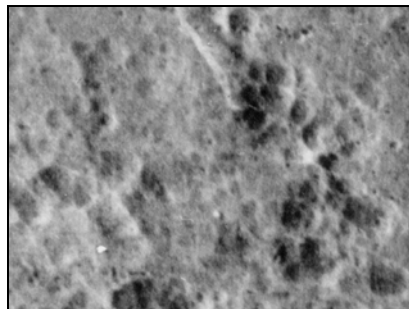
в ×520



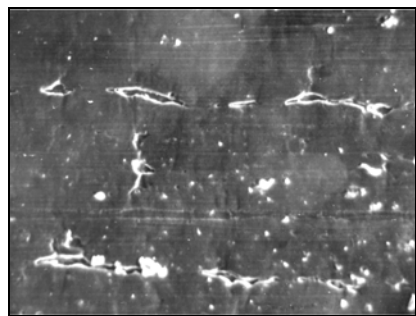
г ×1000



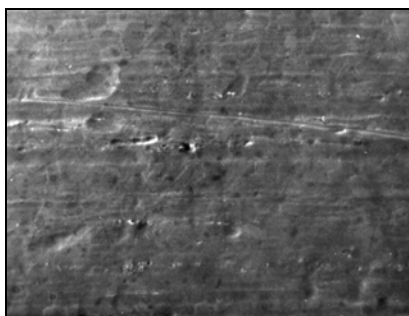
д ×1000



е ×431



ж ×510



з ×510

Рисунок 2 - Топография поверхности труб, полученная с помощью РЭМ, после различных технологических операций: а, б – холодной прокатки (сталь 08X18H10T, сплав Zr1Nb); в – термообработки в защитной атмосфере (сталь 08X18H10T); г – термообработки в вакууме (сплав Zr1Nb); д – шлифовки (сталь 08X18H10T); е – после травления (сплав Zr1Nb); ж – однократной электрохимической полировки (сталь 08X18H10T); з – многократной электрохимической полировки (сталь 08X18H10T)

Т.о. на основании комплексного подхода, включающего привлечение наукоемких методов исследования, в частности РЭМ установлено, что традиционно существующие технологические операции не всегда способны обеспечить истинно высокую чистоту поверхности в трубах, а методы оценки не всегда адекватны. По целому ряду причин, в том числе экономических, на сегодня в редких случаях практикуется поставка труб из нержавеющей сталей после электрохимической полировки, особенно многократной. С точки зрения условий эксплуатации труб шлифовка или ХТО бывают запрещены требованиями технических условий.

Наиболее целесообразным представляется проводить работы в направлении формирования оптимальной структуры труб (повышения однородности и чистоты металла, уменьшения неметаллических включений и т.д.), а также использования рациональных калибровок прокатного инструмента, технологий холодной прокатки и правки, включая рациональный выбор маршрутов ХТО и деформации, смазочных материалов. Эти направления получили дальнейшее развитие при разработке технологии изготовления циркониевых труб для тепловыделяющих элементов АЭС.

Для снятия газонасыщенных, дефектных и загрязненных поверхностных слоев при производстве труб из сплавов циркония выполняют такие операции, как глубокое и струйное травление. Исследования показывают, что при глубоком травлении снимается слой до 100-130 мкм, а при струйном травлении до 30-50 мкм. Опыт подтвердил, что в случае неблагоприятно выбранного режима или состава реактива при ХТО могут появляться питтинги и растравы на поверхности (рис. 2 е). При стравливании незначительного слоя, толщиной 10-20 мкм, на поверхности образуется окисная пленка, повышающая коррозионную стойкость труб. При этом одновременно на поверхности оседают ионы фтора. Для удаления ионов фтора и поврежденных слоев используют шлифовку, полировку, гидравлическую обработку, а также струйное травление без доступа воздуха.

Поэтому были разработаны и опробованы новые технические решения, направленные на улучшение качества поверхности циркониевых труб².

Впервые переделные горячепрессованные трубы из сплава Zr-1Nb после расточки-обточки были подвергнуты абразивно-пескоструйной об-

² В работе принимали участие сотрудники ГП «НИТИ» к.т.н. КАРАСИК Т.Л и к.т.н. БИЛЬДИН К.М

работке. Это позволило обеспечить параметр шероховатости R_a менее 3,2 мкм ($R_a = 1,2-1,5$ мкм).

Далее для обеспечения стабильности процесса холодной прокатки и качества поверхности труб, а именно предотвращения налипания прокатываемого металла на инструмент и появления задиров, на первом холодном переделе проведены эксперименты с использованием новых технологических смазок: импортного производства марки ST 4000P (на основе вязкого полимера), марки ST 230P (с хлором), а также разработанной в ГП “НИТИ” смазки на основе хлор-парафина.

Результаты исследований показали, что как и предполагали имеются сложности с удалением смазки на основе полимеров с поверхности труб. Не смотря на стабильно прошедший процесс прокатки, резко ухудшилась шероховатость поверхности по сравнению с исходным состоянием, которая составила $R_a=2,9-4,8$ мкм по наружной поверхности и $R_a=5,9-6,3$ мкм по внутренней поверхности. Безполимерные смазки с хлором позволили сформировать в трубах первого холодного передела удовлетворительное качество поверхности в пределах $R_a=0,9-1,8$ мкм по наружной поверхности и $R_a=0,8-1,5$ мкм по внутренней поверхности.

Смазки с хлором и хлор-парафином были взяты за основу при последующих переделах для получения труб-оболочек ТВЭЛ размером $\varnothing 9,13 \times 0,7$ мм. При этом были скорректированы режимы холодной прокатки и ХТО.

Установлено, что уровень шероховатости поверхности в готовых трубах из сплава Zr1Nb ($R_a = 0,4-0,6$ мкм) удовлетворяет требованиям (рис. 3).

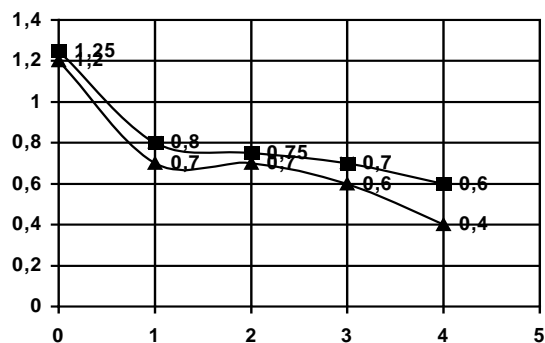


Рисунок 3 - Изменение параметра шероховатости труб из сплава Zr1Nb в процессе трубного передела по наружной (■) и (▲) внутренней поверхностям:
 0 – исходная горячепрессованная труба после расточки-обточка и пескоструйной обработки; 1-3 – переделовая холоднотрубная труба; 4 – готовая труба для ТВЭЛ $\varnothing 9,13 \times 0,7$ мм

Также полученные трубы выдержали ультразвуковой контроль и по основным показателям (структуре, механическим свойствам и др.) соответствовали требованиям технических условий.

Выводы

Разработаны и опробованы в промышленных условиях, сквозные технологии получения прецизионных труб из коррозионностойких сталей и сплава циркония с высоким качеством поверхности по всему переделу ($R_a \leq 1$ мкм).

С помощью РЭМ и профилометрии определены критические операции, оказывающие основополагающее влияние на состояние поверхности труб. К ним относятся, прежде всего, операции деформирования и химико-технологической обработки, важное значение имеет качество передельной трубы.

Разработанные технологические мероприятия по обеспечению качества поверхности в трубах, могут быть адаптированы в производстве проволоки, прутков, ленты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние качества поверхности канала труб на стойкость против межкристаллитной коррозии / Ан. Н. Серебряков, Е. Л. Шулин, Ал. В. Серебряков и др. // Металлург (РФ). – 2004. – № 11. – С. 53-55.
2. Повышение качества поверхности холоднодеформированных труб из коррозионностойкой стали / Ан. Н. Серебряков, Е. Л. Шулин, Ал. В. Серебряков и др. // Металлург (РФ). – 2004. – № 9. – С. 61-62.
3. Некрасова Г.А., Бибилашвили Ю.К., Суханов Г.И. Разработка оболочек ТВЭЛов с барьерным покрытием за рубежом // Обзор. - Цирконий в атомной промышленности. – М.: ЦНИИАтоминформ, 1987. – Вып. 15. – 40 с.
4. Иванова С.В., Бочаров О.В., Шиков А.К. Влияние технологических факторов на процесс поглощения водорода циркониевыми компонентами активных зон реакторов ВВЭР и РБМК // Матер. 15-й Международ. конф. по физике радиац. явлений и радиац. материаловедению. – Алушта, 2002. – С. 115-116.
5. Займовский А.С., Никулина А.В., Решетников Н.Г. Циркониевые сплавы в атомной энергетике. – М.: Энергоиздат, 1981. – 232 с.