

---

УДК 621.774:620.182

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ  
ДЕТАЛЕЙ И ЭЛЕМЕНТОВ ТРУБОПРОВОДОВ**

**к.т.н. Т. Н.Буряк**

*Государственное предприятие “Научно-исследовательский  
трубный институт им. Я. Е. Осады”  
(ГП «НИТИ»)*

Для эффективной бесперебойной работы сети трубопроводов и трубных систем в различных отраслях необходимо решить задачу обеспечения качественными конструкционными материалами (трубами, отводами, коленами, переходниками, тройниками). Украина имеет развитую трубную промышленность, но до сих пор ограниченная собственным производством элементов трубопроводов (отводов и др.). В качестве заготовок для их изготовления используют трубы.

Действующие нормативные документы к качеству элементов трубопроводов прежде всего содержат нормы к геометрическим размерам и свойствам, практически не выдвигают требований к структуре. Причем комплекс требований в металле отводов должен быть не ниже, чем в металле исходных труб-заготовок. Однако в процессе формирования отводов происходят изменения в структуре по отношению к структуре использованных труб, вплоть до разрушения металла. Т.е. именно металловедческие аспекты являются определяющими относительно качества элементов трубопроводов и построения технологии их производства. Все чаще поднимаются вопросы, связанные с необходимостью пересмотра требований на трубы.

Целью данной работы является исследование трансформации структуры и свойств в отводах, полученных из труб по разным технологиям и разработка рекомендаций для корректировки требований к исходным трубам.

Материалом исследований служили холодно- и горячедеформированные трубы диаметром от 15 до 325 мм из углеродистой и высоколегированной коррозионностойкой стали марок 20, 08X18N10T, TP 316 (сталь 03X17N14M3) и фрагменты изготовленных из них отводов<sup>1</sup>.

При производстве деталей трубопроводов распространены случаи появления брака, которые могут быть связаны как с температурно-деформационными условиями их изготовления, так и со структурой исходных труб. К наиболее распространенным дефектам следует отнести гофры, морщины с внутренней стороны отводов, надрывы и трещины, которые могут быть ориентированными вдоль или в поперёк, чрезмерное утонение толщины стенки из внешней стороны отводов, структурную неоднородность.

Высокое содержание неметаллических включений, их локальное сосредоточение в зоне деформирования, которое превышает допустимые нормы может составлять одну из причин разрушения. Поэтому согласно техниче-

---

<sup>1</sup> В работе принимали участие с.н.с. Ярошенко Н.В. и с.н.с. Кузьмичев Е.М. (ГП «НИТИ»)

ским условиям загрязненность металла труб, предназначенных для формирования элементов трубопроводов исследуемого сортамента, не должна превышать 3,5-4 балла по сульфидам и 3,5-4 балла по оксидам и силикатам для стали 20, а для стали 08X18H10T - 2,5-3,5 балла по нитридам и карбонитридам титана, 3 балла по оксидам и силикатам, 1 балл по сульфидам, 2 балла по силикатам недеформирующимся [1,2]. В разрушенных во время изготовления отводах наблюдались случаи локального загрязнения металла неметаллическими включениями в зоне разрушения свыше 4,5-5 баллов. Известно, что повышенное содержание включений не только ухудшает некоторые служебные свойства (например снижает коррозионную стойкость), но и отрицательно влияет на технологическую пластичность, приводит к неравномерности деформации. Поэтому работы, связанные с уменьшением количества неметаллических включений в трубной заготовке и трубах, продолжают до сих пор.

Известно, что между структурой металла и его свойствами, прежде всего в способности к деформированию, существует взаимосвязь. При формировании отводов металл труб подвергается влиянию сложных условий деформирования - растяжения, сжатия, сдвига. Поэтому для труб больших диаметров применяют предшествующий нагрев и деформацию в горячем состоянии.

При изготовлении отводов малых диаметров чаще всего осуществляют изгиб труб вокруг оправки без подогрева, т.е. в холодном состоянии. В результате с наружной стороны зерна вытягиваются (рис. 1, а), а толщина стенки уменьшается, с внутренней стороны наоборот - зерна сжимаются (рис. 2, б) и соответственно увеличивается толщина стенки. Это отвечает классическим представлениям [3] о неоднородном изменении межплоскостных расстояний при изгибе (рис. 1, в). Например, в U-образном отводе из стали TP316 (03X17H14M3) размером (диаметр×толщина стенки)  $\varnothing 15 \times 1,0$  мм, зафиксированная стенка толщиной 0,77-0,87 мм по внешней и 1,34-1,38 мм по внутренней стороне. Твердость возрастает до 93-96 единиц HRB по отношению к твердости исходной трубы, которая составляла 82 единицы HRB.

При изготовлении отводов больших диаметров применяют изгиб трубы в горячем состоянии вокруг оправки (с применением индукционного нагрева), или более сложную схему, которая включает подогрев труб в термических печах, их деформацию на раздачу с подъемом (увеличение диаметра с уменьшением толщины стенки) и изгиб.

Первая схема приводит к существенному утонению стенки и деформированию зерна в зоне изгиба, аналогично описанному выше. Кроме того может происходить значительный рост зерна в зоне изгиба. Так при толщине стенки 6,5 мм в трубе диаметром 159 мм из стали 08X18H10T в отводе она составляла 4-5 мм, а в забракованных изделиях - всего 0,5-1 мм. Величина зерна увеличилась с №№ 8-9 к №№ 5-6 и с №№ 4-9 (рис. 2, а) до №№ 3-5 (рис 2, б). Также наблюдается разупрочнение, которое характеризуется падением твердости с 77-85 единиц HRB до 60-73 единиц HRB.

Исследование структуры в металле, обработанном по второй схеме, которая не должна приводить к неравномерности по толщине стенки в отводах, выполнены на образцах из стали 20 и показали следующее. Исходная труба имеет феррито-перлитную структуру с явно выраженной полосчатостью пер-

лита по направлению деформации труб с однородными по размерам зернами феррита полиэдрической формы (рис. 2, в). В отводе структура изменяется: нарушается традиционная ориентация перлитной полосчатости, появляется разнотернистость ферритной составляющей (рис. 2, г). Следует отметить, что вообще деформация «на подъем» не благоприятно влияет на структуру металла, поэтому может привести к появлению дефектов и разрушению.

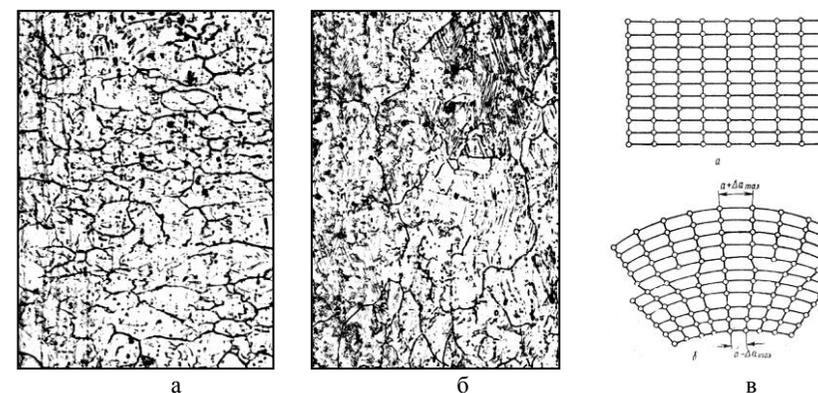


Рис. 1. Микроструктура U-отвода  $\varnothing 15 \times 1,0$  мм из стали TP 316:  
 а – наружная сторона отвода,  $\times 100$ ;  
 б – внутренняя сторона отвода,  $\times 100$ ;  
 в – картина изменения межплоскостных расстояний при изгибе [3]

Выполненные исследования [4-7] показывают, что надежность трубопроводов и технологическая пластичность металла при формировании отводов зависит от многих факторов, связанных как с качеством труб, так и с технологиями их изготовления. Например, доказано, что уменьшение величины зерна до №№ 8–10 после термической обработки холодно- или теплodeформованных труб из коррозионностойкой стали и следующая операция правки может привести к росту уровня твердости до 90 единиц HRB и больше, что характеризуется повышенным уровнем остаточных напряжений металла труб ( $\sigma_t = 39 \dots 71$  Н/мм<sup>2</sup>) и может привести к разрушениям при изготовлении U-образных отводов [4]. Также трубы с мелкозернистой структурой (№ 10 и меньше) часто не выдерживают технологических испытаний на сплющивание.

Формирование более крупнозернистой структуры (№ 6-7) с улучшением технологий отделки (термической обработки, правки, шлифовки) позволяет существенно снизить уровень остаточных напряжений ( $\sigma_t = 20 \dots 22 \dots 22$  Н/мм<sup>2</sup>), что в совокупности способствует повышению технологической пластичности при уровне твердости HRB  $\leq 80$  единиц [4,5]. В то же время увели-

чение размера зерна до № 4-5 в горячедеформированных трубах больших диаметров также может привести к разрушительным процессам, но уже за счет неуправляемого роста зерна во время горячего изгиба отвода при температурах 1050-1150°C [6,7].

Повышенное содержание неметаллических включений или ферритной фазы также увеличивает вероятность появления дефектов. Т.е., актуальными являются вопросы управления структурой и свойствами материалов во время производства труб и деталей трубопроводов.

Следует отметить, что во многих нормативных документах на трубы структурные параметры не относятся к контролируемым показателям качества. Во всех документах отсутствуют нормы по содержанию ферритной фазы в металле готовых труб из коррозионностойкой стали аустенитного класса. Не всегда регламентируется количество неметаллических включений. Относительно величины зерна, то в стандартах на трубы общего назначения (ГОСТ 9940, ГОСТ 9941), как правило требования не выдвигаются.

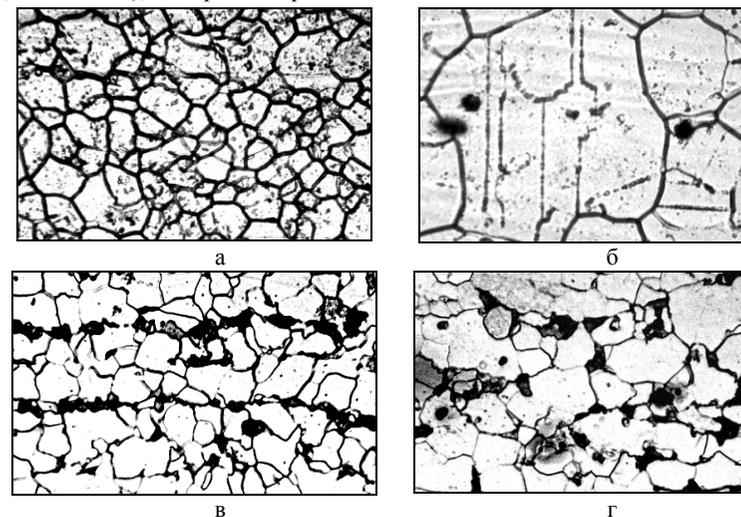


Рис. 2. Трансформация микроструктуры при формировании отводов способом горячей деформации:

а, б – сталь 08X18N10T (изгиб вокруг оправки),  $\times 400$ ;

в, г – сталь 20 (деформация з «подъемом»),  $\times 500$ ;

а, в – исходная труба; б, г – отвод

Лишь в технических условиях на специальные виды труб, этот параметр нормируется как не крупнее № 4 для горячедеформированных труб и не крупнее № 5 для холоднодеформированных труб из стали 08X18N10T (ТУ 14-3-197:2006).

В отличие от зарубежных стандартов (ASTM A312/A312M, ASTM A213/A213M, ISO 13680 и др.), в отечественных стандартах на трубы из коррозионностойкой стали отсутствуют нормы по твердости, которая в значительной мере зависит от структурного состояния и уровня остаточных напряжений.

Поэтому предложены уточнённые критерии качества труб:

- величина зерна горячедеформированных труб (диаметром от 76 мм и более), предназначенных для изготовления отводов в горячем состоянии не должна быть более № 6; твердость  $HRB \leq 90$  единиц;

- величина зерна тепло- и холоднодеформированных труб (диаметром менее 76 мм), предназначенных для изгиба отводов в холодном состоянии должна составлять от № 5 до № 7; твердость  $HRB \leq 80$  единиц;

- содержание неметаллических включений в металле труб не должно превышать по карбонитридам титана 2,5-3 балла для горячедеформированных труб, 1,5-2 балла для тепло- или холоднодеформированных труб; загрязненность оксидами и силикатами - не больше 1,5-2 балла, сульфидами не больше 1 балла;

- содержание ферритной фазы не больше 1 балла для горячедеформированных труб и не больше 0,5 баллов для тепло- или холоднодеформированных труб.

В зависимости от формы деталей целесообразно выполнять технологические испытания труб на загиб, сплющивание, раздачу на рассчитанную величину деформации в соответствии с изготовлением элементов трубопроводов.

Выводы:

1. Показано, что технологические особенности оказывают основополагающее влияние на формирование структуры и свойств деталей и элементов трубопроводов, которые напрямую зависят от качества исходных труб.

2. Рекомендовано усовершенствовать технологии изготовления с возможностью управления структурой и свойствами на разных стадиях производства (прежде всего касается операций деформирования, нагрева и термической обработки, отделки). При этом, целесообразно пересмотреть пакет нормативных документов как на элементы и детали трубопроводов, так и на исходные трубы-заготовки с созданием дополнительных требований на трубы.

3. Изготовление труб, предназначенных для отводов и деталей трубопроводов осуществлять с учётом следующих критериев, которые целесообразно внести в нормативную:

- контролируемая величина зерна и введение норм по твердости с учётом сортамента труб и отводов;

- снижение содержания неметаллических включений и введение ограничений по ферритной фазе;

---

- обязательное введение требований на технологические испытания на заданную величину деформации.

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. ТУ 14-3-460:2009 "Трубы сталево-бронзовые для паровых котлов и трубопроводов". – 2009 г. – 49 с.
2. ТУ 14-3-197:2006 "Трубы безшовные из коррозионно-стойких марок сталей с повышенной прочностью поверхности". – 2006 г. – 19 с.
3. Горелик С. С. Рекристаллизация металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1967. – 403 с.
4. Пути улучшения качественных показателей труб из коррозионно-стойкой стали аустенитного класса / Буряк Т.Н., Вахрушева В.С., Ярошенко Н.В., Тараненко А.А., Терещенко А.А., Чекмарёв В.В. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2008. - № 3. – С. 53-57.
5. Обеспечение качества труб из коррозионно-стойких сталей по зарубежным стандартам / Буряк Т.Н., Вахрушева В.С., Ярошенко Н.В., Лёткин А.М. // Сталь. – 2009. - № 6. – С. 64-67.
6. Буряк Т.Н. О причинах разрушения металла труб при формировании стальных отводов специального назначения // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2008. - № 1. – С. 77-80.
7. Буряк Т.Н., Ярошенко Н.В., Кузьмичёв Е.М. Исследование причин разрушения металла в результате горячей гибки элементов трубопроводов из стали 08Х18Н10Т, предназначенных для АЭС // Сб. науч. трудов "Строительство, материаловедение, машиностроение" (Сер.: Стародубовские чтения 2007). – Днепропетровск, 2007. – Вып. 41. – Ч. 2. – С. 72-80.