

## КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ОТВОДОВ ГНУТЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ ГИБКОЙ С РАСКАТЫВАНИЕМ

*А.В. Козлов, В.Г. Шеркунов*

Рассмотрено влияние на структуру и свойства материала труб, подвергнутых холодной гибке с раскатыванием. Показано, что по большинству показателей полученные изделия относятся к весьма надежным и могут быть применены в различных технологических трубопроводах.

При гибке труб разработанным в ЮУрГУ методом с дополнительным воздействием нагибаемую трубу вращающимся раскатником (рис. 1) [1] выявилось существенное изменение структуры стенок трубы и основных свойств в отдельных ее участках.

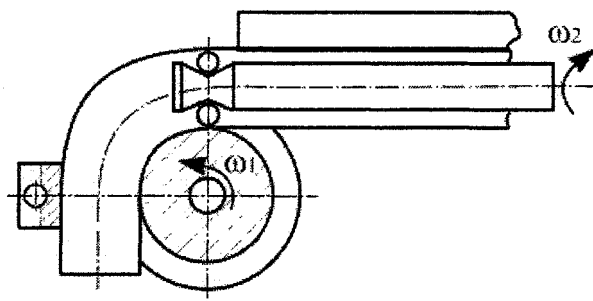


Рис. 1. Схема гибки труб, раскатываемых с большими натягами

Для исследования были отобраны кольцевые и продольные образцы и микрообразцы как из прямых участков трубы, так и из участков трубы, подвергнутых гибке с раскатыванием. Материал труб, подвергнутых гибке с раскатыванием - сталь марок 10 и 20, а также в ряде исследований - 12Х18Н10Т и АМПО.

Макроструктура поперечного сечения кольцевых проб, выявленная при горячем травлении, плотная, каких-либо дефектов в виде неплотностей, закатов, трещин не имеет.

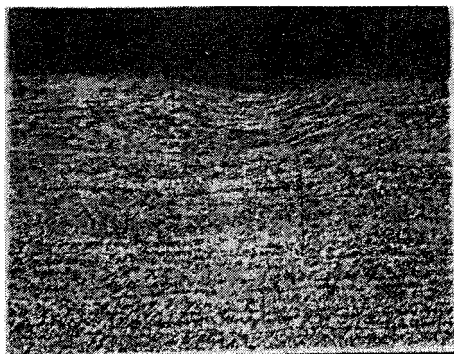
Исследование проводилось на металлографических микроскопах МИМ-10, Неофот при увеличениях от 50 до 500. Загрязненность неметаллическими включениями оценивалась по ГОСТ 1778-78 «Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений».

Оценка микроструктуры и фотографирование ее производилось после травления шлифов металлографическим реактивом, представленным 4 %-ным раствором азотной кислоты в спирте. Твердость измеряли на приборе ХРО-10 (ГДР). Структура сталей марок 10 и 20 - пластичный перлит+феррит, среднее значение которых в зависимости от содержания углерода (0,07...0,14 % и 0,17...0,24 % для сталей 10 и 20) соответствует 10 и 20 %.

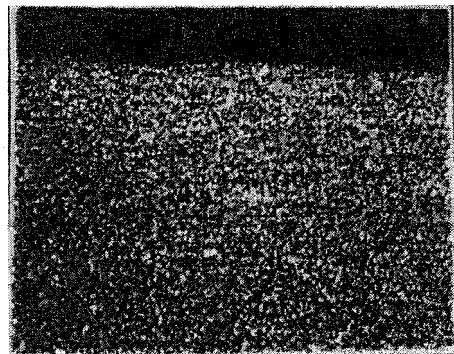
Поскольку труба подвергается раскатыванию с большим натягом, имеет место пластическое течение металла, что приводит к глубокой (сквозной) проработке структуры материала трубы, вследствие чего структура пластического перлита не имеет характерных (типичных) признаков.

Микроструктура исследованных образцов трубы представляет собой дисперсную перлито-ферритную структуру, при этом для структуры характерна некоторая строчечность (вытянутость) элементов, параллельная образующим поверхностям трубы. Эта строчечность по толщине стенки трубы постепенно ослабевает от внутренней поверхности к наружной. На рис. 2 представлена микроструктура образца внутренней стенки, где хорошо просматриваются три слоя.

Первый слой со стороны внутренней поверхности трубы (см. рис. 2, а) - самый тонкий, его толщина соответствует 0,522 мм. Для структуры этого слоя характерна большая вытянутость элементов структуры в виде темных и светлых полос с очень сложным их расположением.



а)



б)

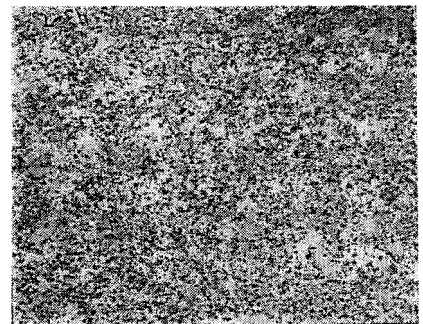
**Рис. 2. Микроструктура ( $\times 50$ ) образца внутренней стенки трубы: а – поверхностный дефект и строчечность перлитно-ферритной структуры с внутренней стороны стенки; б – строчечность перлитно-ферритной структуры с наружной стороны стенки (уменьшение 1/2)**

Второй слой - структура с более грубой строчечностью - наблюдается в направлении к наружной стенке на расстоянии 4,25 мм. Постепенно строчечность ослабевает, становится менее выраженной. Такая структура наблюдается на протяжении 3,12 мм (см. рис. 2, б).

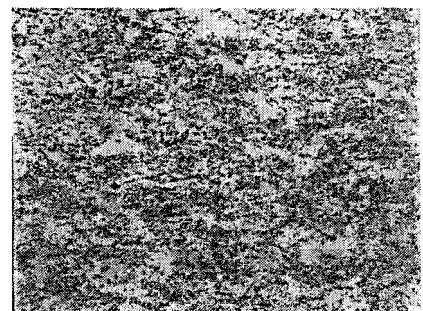
Указанные слои структуры по толщине стенки трубы наблюдаются в структуре верхнего и бокового образцов. Естественно, что протяженность этих слоев различна. Так, в структуре верхнего образца первый слой (его толщина примерно 0,3 мм) более плавно (менее контрастно) переходит во второй слой. На боковом образце толщина первого слоя достигает 0,6...0,7 мм. В структуре образца, не подвергнутого гибке с раскатыванием, первый слой отсутствует. Образование первого слоя следует объяснить пластическим течением металла в результате раскатывания.

Второй и третий слои, скорее всего, получены при прокатке металла на трубу («горячая» деформация). Более выраженная направленность структуры со стороны внутренней поверхности стенки трубы обусловлена действием сжимающих напряжений. Постепенное ослабление направленности (примерно за половиной толщины стенки) структуры к наружной поверхности стенки трубы обусловлено переходом сжимающих напряжений в растягивающие. Направленность структуры определялась при малом увеличении - в 50 раз. В случае больших увеличений исследуются более мелкие элементы структуры, которые не наблюдаются при малых увеличениях. При этом строчечность, какая-либо направленность могут выглядеть значительно слабее или исчезнуть вообще. Структуры на рис. 2 и 3 сделаны при увеличении соответственно в 50 и 500 раз, то есть различие в 10 раз, а по площади различие достигает 100 раз.

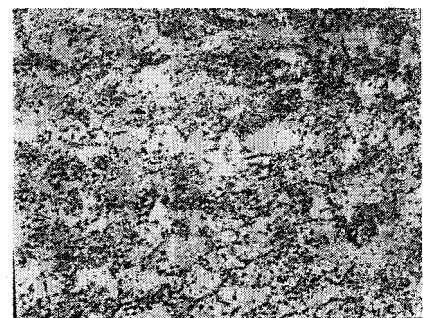
Дополнительно была замерена твердость слоев структуры на образцах из внутренней стенки. Твердость замеряли на приборе ХРО-10, предназначенном для определения твердости по Виккерсу больших начисто обработанных деталей, в частности, стальных валков в улучшенном состоянии. Так как алмазная пирамидка прибора Виккерса вдавливалась в поверхность проверяемой детали с усилием 50... 100 Н, то получаются весьма малые отпечатки диаметром  $d$ . Приведенная в табл. 1 твердость в единицах НВ соответствует твердости в единицах НV.



а)



б)



в)

**Рис. 3. Строчечность перлитно-ферритной структуры ( $\times 500$ ): со стороны внутренней поверхности стенки трубы (а), средних слоев (б) и со стороны наружной поверхности (в)**

Таблица 1

Твердость слоев структуры на образцах из внутренней стенки

Слой	d, мм	НВ
1	4,85	152
2	5,00	143
3	5,05...5,10	140–137

По-видимому, высокая пластичность материала трубы (основная структурная составляющая - феррит), низкая его твердость не позволяют развиваться дефектам, возникающим при гибке трубы, на большую глубину - происходит затягивание дефекта [2].

Таким образом, изучив влияние холодной гибки труб с раскатыванием на структуру и свойства металла, установили, что изделия, получаемые по данной технологии, являются высоконадежными.

С целью изучения физико-механических свойств были проведены испытания на растяжение на универсальной машине с гидравлическим приводом и силоизмерителем на 50 т.

Полученные данные (табл. 2, 3) свидетельствуют о значительном изменении механических свойств материала стенок трубы: повышении прочностных и снижении пластических характеристик (особенно внешней и внутренней стенок).

Таблица 2

Сталь 20

№	Наименование образца	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %
1	Образец из трубы, неподвергнутый гибке (эталон)	305,9	426,5	31,2
2	Образец внутренней стенки изогнутой трубы	427,4	560,0	13,0
3	Образец боковой стенки изогнутой трубы	506,9	596,1	6,0
4	Образец наружной стенки изогнутой трубы	524,5	544,1	6,8

Таблица 3

Сталь 20 (после термообработки)

№	Наименование образца	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %
1	Образец из трубы, неподвергнутый гибке (эталон)	262,7	368,6	32,2
2	Образец внутренней стенки изогнутой трубы	281,4	400,0	32,8
3	Образец боковой стенки изогнутой трубы	268,6	355,9	14,0
4	Образец наружной стенки изогнутой трубы	287,2	356,8	23,4

Получаемые гибкой отводы могут найти применение в различных технологических трубопроводах, в том числе транспортирующих агрессивные среды. В связи с этим были проведены испытания на коррозионную стойкость.

Совместно с НИИ «БашНИПНефть» были проведены лабораторные испытания на коррозионную стойкость отводов, получаемых гибкой с раскатыванием. Материал отводов - сталь 20

## Технология

ГОСТ 1050-88. Скорость коррозии определялась в 3%-ном растворе NaCl и пластовой минерализованной воде, насыщенной сероводородом и углекислым газом. Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 9.908-85 «Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости» и РД 39-519-81 «Методика испытания ингибиторов коррозии в двухфазных сероводородо-содержащих средах». Время экспозиции в агрессивной среде при температуре 20 °С - 24 часа. Удаляют продукты коррозии органическим растворителем.

Результаты лабораторных испытаний приведены в табл. 4.

Результаты испытаний на коррозионную стойкость

Таблица 4

№ образца	Площадь поверхности S, 10 <sup>-4</sup> м <sup>2</sup>	Масса образца, г		Агрессивная среда	Потеря массы Δm, кг/м <sup>2</sup>	Скорость коррозии K, г/(м <sup>2</sup> ·ч)	Результаты наблюдения за раствором и образцом
		до	после				
		испытаний					
1	55,56	55,16	54,87	3 %-ный раствор NaCl	0,053	2,23	Раствор помутнел. Образовался осадок в виде хлопьев ржавчины. Образец потускнел, покрылся ржавым равномерным налетом (оксидом железа)
2	54,68	54,78	54,48		0,054	2,24	
3	49,88	55,94	55,64		0,059	2,45	
4*	53,96	62,07	61,59		0,089	3,71	
5	47,32	45,35	45,06	Пластовая вода	0,061	2,55	Раствор помутнел. Образовался осадок в виде черных хлопьев. Образец покрылся черной глянцевой пленкой с рыжими вкраплениями (сульфидами и оксидами железа)
6	59,26	60,51	60,14		0,063	2,64	
7	58,52	48,71	48,34		0,062	2,58	
8*	52,39	59,83	59,32		0,097	4,08	

\* Необработанные образцы с черной окалиной

Анализ результатов проведенного исследования показывает, что скорость коррозии деформированных образцов в 3%-ном растворе NaCl составляет в среднем 2,31 г/(м<sup>2</sup>·ч). Скорость коррозии образцов в пластовой минерализованной воде, насыщенной сероводородом и углекислым газом с Волковской ДНС, составляет в среднем 2,59 г/(м<sup>2</sup>·ч). Скорость коррозии необработанных образцов с черной окалиной выше, чем у зачищенных до металлического блеска.

По приведенным значениям можно определить скорость коррозии металла, которая составляет 0,0029...0,0033 мм/год, что в соответствии с ГОСТ 13819-68 позволяет отнести гнутые отводы к группе весьма стойких [3].

Опытные отводы, полученные гибкой с раскатыванием, были также подвергнуты гидравлическим испытаниям рабочим давлением 40 МПа.

**Результаты испытаний.** Гнутые отводы выдержали гидравлическое испытание, так как не обнаружено течи, потения в основном металле, видимых и остаточных деформаций, трещин или признаков разрыва и отклонений от первоначальных параметров по ТУ 1468-001-45669812-2003 не выявлено.

По результатам был сделан вывод о том, что получаемые по предлагаемой технологии отводы могут быть допущены к нормальной эксплуатации при рабочем давлении до 40 МПа.

В процессе эксплуатации ответственных трубопроводов, подведомственных Госгортехнадзору, в результате воздействия перепадов температур, гидравлических ударов, в трубопроводах и их элементах (компенсаторах, изготовленных из гнутых отводов) возникают знакопеременные компенсирующие напряжения. В результате трубопроводы и их элементы подвергаются усталостной нагрузке, поэтому возникла необходимость в проведении испытаний на циклическую прочность.

Нагружение образцов осуществлялось знакопеременным изгибом с постоянной амплитудой деформирования, т. е. осуществлялось жесткое циклическое нагружение. Опытные условия нагружения близко совпадали с действительными. В опытах экспериментальное трубное колено включалось составной частью в П-образный трубопровод, один конец которого закреплялся неподвижно, а другой перемещался с заданной амплитудой. При испытании образцы заполнялись водой при небольшом давлении для обнаружения сквозной трещины. Схема работы П-образного компенсатора показана на рис. 4.

Для испытаний были отобраны два образца: отвод гнутый  $90^\circ \text{Ø}60 \times 4$  по ТУ 1468-001-45669812-2003 и отвод  $90^\circ \text{Ø}57 \times 4$  по ГОСТ 17375-2001.

Сравнительные испытания на циклическую прочность этих образцов проводились на универсальной машине УММ-100 совместно с сотрудниками лаборатории кафедры МАХП Уфимского государственного нефтяного технического университета. Согласно расчетам количество циклов возникающих компенсирующих напряжений было принято равным 10 000 с углом качания  $\alpha=3^\circ$ .

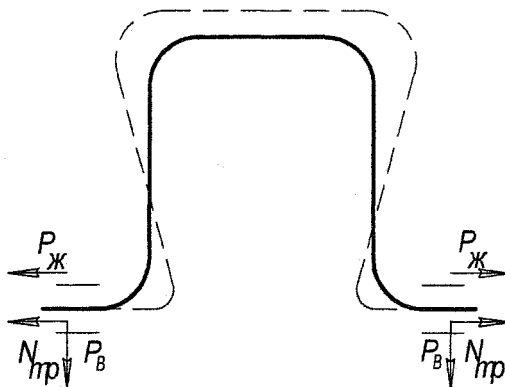


Рис. 4. Схема работы П-образного компенсатора

Проведенные исследования показали, что отводы выдержали испытания на циклическую прочность, отклонений по геометрическим размерам и каких-либо дефектов (трещин, гофр) признаков разрушения металла не обнаружено.

В результате испытаний на циклические нагрузки выявлено, что гнутый отвод  $90^\circ \text{Ø}60 \times 4$  по ТУ 1468-001-45669812-2003 имеет повышенную устойчивость к воздействию механических нагрузок. При сжатии этого отвода до полного разрушения, изменение геометрических параметров (смятие) в зонегиба произошло при достижении усилия, равного 2040 кг. А у отвода  $90^\circ \text{Ø}57 \times 4$  по ГОСТ 17375-01 изменение геометрических параметров (смятие) в зонегиба произошло при достижении усилия, равного 1470 кг.

#### Список литературы

1. Патент 818707 РФ. МКИВ 21 D 9/14. Способ гибки труб / С.Г. Лакирев, ЯМ Хиъкевич. - № 2713945/25; заявл. 17.0.79; опубл. 07.04.81, Бюл. № 13. - 3 с.
2. Козлов, А.В. Изучение влияния холодной гибки труб с раскатыванием на структуру и свойства металла / А.В. Козлов, И.В. Чуманов, А.В. Бобылев // Известия вузов. Черная металлургия. - 1999. - №6. - С. 33-35.
3. Козлов, А.В. Влияние гибки с раскатыванием на коррозионную стойкость отводов / А.В. Козлов, В.А. Аймурзин // Современные технологические системы в машиностроении: сб. тезисов докладов Международной научно-технической конференции. - Барнаул: Изд-во АлГТУ, 2003. - С. 77-78.