

О ПОВЫШЕНИИ НАДЁЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ АЭС ДИАМЕТРОМ 325 ММ ИЗ СТАЛИ 08X18H10T

В.С. Вахрушева, Т.Н. Буряк, Е.Я. Лезинская

Государственный трубный институт им. Я.Е.Осады, г. Днепропетровск, Украина

Выполнена сопоставительная оценка металла труб диаметром 325 мм из стали 08X18H10T, полученных по традиционной технологии из ковальной заготовки и по новой технологии из литой заготовки газо-кислородного рафинирования. Показано, что по уровню механических свойств, в том числе пределу текучести при 350°C, величине зерна, стойкости к межкристаллитной коррозии, ультразвуковому контролю, трубы, полученные по новой технологии, полностью удовлетворяют требованиям технических условий. Комплексное улучшение их качества достигнуто вследствие снижения содержания углерода, серы, неметаллических включений, а также формирования более однородной, полностью рекристаллизованной структуры в сравнении с трубами, полученными по традиционной технологии. Намечены реальные пути улучшения материала трубопроводов диаметром 325 мм из стали 08X18H10T.

На мировом энергорынке атомные электростанции удерживают стабильное положение среди энергопоставщиков. Около 50 % электроэнергии в Украине вырабатывают АЭС. Повышение надёжности трубопроводов и трубных систем является важным моментом в обеспечении бесперебойной работы энергоблоков.

В ядерных энергетических установках широко используются трубы диаметром 219...325 мм из стали 08X18H10T, к качеству которых предъявляются повышенные требования. Опыт эксплуатации АЭС показывает, что в разрушении оборудования и трубопроводов доминирует коррозионное растрескивание (КР) или коррозия под напряжением [1]. Начало КР может положить межкристаллитная коррозия (МКК) [2]. В этой связи повышение коррозионной стойкости является одной из актуальнейших задач, стоящих перед металловедами и технологами, которую можно решить вследствие оптимизации химического состава и создания структуры определённого типа. Важным аспектом является формирование регламентированного уровня механических свойств в трубах из высоколегированных марок стали, в частности 08X18H10T.

К наиболее действенным путям повышения срока службы трубопроводов АЭС из аустенитных марок стали, в том числе их коррозионной стойкости, исследователи относят уменьшение содержания углерода и вредных примесей, неметаллических включений и остаточных напряжений, повышение содержания элементов-стабилизаторов (Nb, Ti), микролегирование редкоземельными металлами [1-5], а также повышение стабильности структуры и уменьшение степени её неоднородности [6].

Данные, накопленные металловедами и технологами, работающими в области производства труб для атомной энергетики, показывают следующее. В аустенитных сталях проявляется значительная чувствительность свойств по отношению к структурно-состоянию, и наиболее трудной задачей является

формирование в трубах комплекса показателей качества в соответствии с нормами ТУ 14-3-197-89 «Трубы бесшовные из коррозионно-стойких марок стали с повышенным качеством поверхности», ТУ 14-3Р-197-2001 «Трубы бесшовные из коррозионно-стойких сталей с повышенным качеством поверхности». Требования данных технических условий, имеющих гриф «для АЭС», предусматривают получение рекристаллизованной структуры с величиной зерна не крупнее 4-го номера, в строгих пределах регламентированный уровень предела текучести при 350°C (186...333 Н/мм²), стойкость к межкристаллитной коррозии и др.

Получению требуемой структуры и свойств в трубах диаметром 325 мм способствует применение высоких степеней горячей деформации, большое значение имеет качество металла трубной заготовки.

Статистический анализ сертификатных данных на трубную заготовку стали 08X18H10T по 260-ти промышленным плавкам показывает существенное колебание химического состава от плавки в плавке, прежде всего по содержанию элементов, отрицательно влияющих на стойкость к коррозии, ползучести и усталости: углерода (0,03...0,08 %), примесей серы (0,002...0,020 %) и фосфора (0,022...0,050 %), отношение титана к углероду колеблется от 5 до 12, причём $Ti/C \leq 7$ составляет ~ 41 %, $7 \leq Ti/C \leq 10$ ~ 53 % и $Ti/C \geq 10$ всего 6 %. Зональная разнородность, наличие колоний неметаллических включений в ковальной трубной заготовке, загрязнённость которыми достигает 5 баллов (рис. 1), затрудняют получение регламентированной структуры и свойств в горячедеформированных трубах.

Сопоставительная оценка [7] качества труб диаметром 325 мм стали 08X18H10T, прокатанных из ковальной заготовки на автоматстанах в условиях отечественного и импортного промышленного производства, выявила значительную структурную неоднородность с наличием нерекристаллизованных участков, сформировавшуюся по механизму как по-

лигонизации, так и рекристаллизации (рис. 2). При этом для обеспечения требуемого уровня предела текучести при 350°C практикуется поставка труб с измельченной структурой, характеризующей начальные стадии рекристаллизации, либо с полигонизованной структурой, т.е. в недостаточно разупроч-

ненном состоянии. Термическая обработка труб после горячей деформации не устраняет неоднородность зёрненной структуры. Повышение однородности структурного состояния должно положительно влиять на служебные свойства труб, в частности, на стойкость к МКК и КР под напряжением.

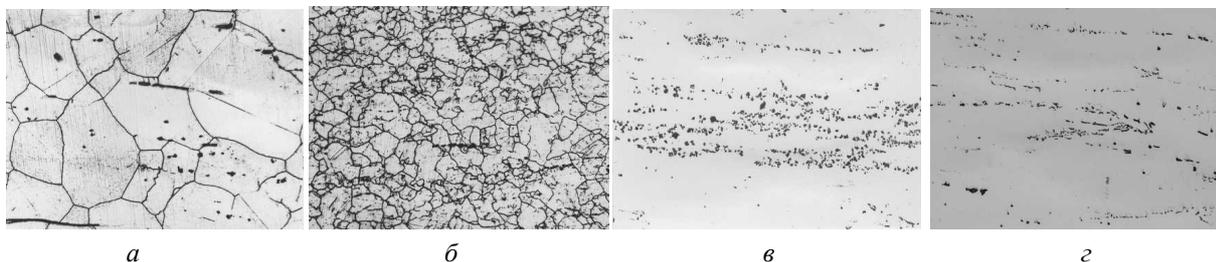


Рис. 1. Структурная неоднородность ковальной трубной заготовки из стали 08X18H10T, $\times 100$: а – зёрненная структура сердцевины; б – зёрненная структура периферийных слоёв; в, з – неметаллические включения в металле, выплавленном в электропечах

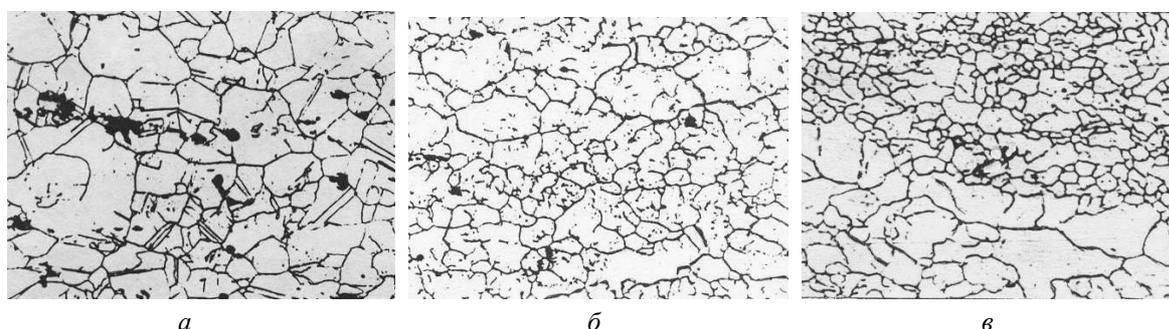


Рис. 2. Микроструктура труб $\varnothing 325 \times 16$ мм, полученных по традиционной технологии из ковальной заготовки, $\times 200$

Поэтому с целью исправления отмеченных недостатков разработана другая схема, включающая применение в качестве заготовки слитка (рис. 3) газокислородного рафинирования (ГКР), а также новых схем с большими степенями деформации, исключающих растягивающие напряжения [8].

Это позволяет без проведения термической обработки труб с отдельного нагрева реализовать разупрочнение достаточно полно по механизму рекристаллизации с формированием однородной зёрненной структуры, в которой преобладают низкоэнергетические двойниковые границы (рис. 4).

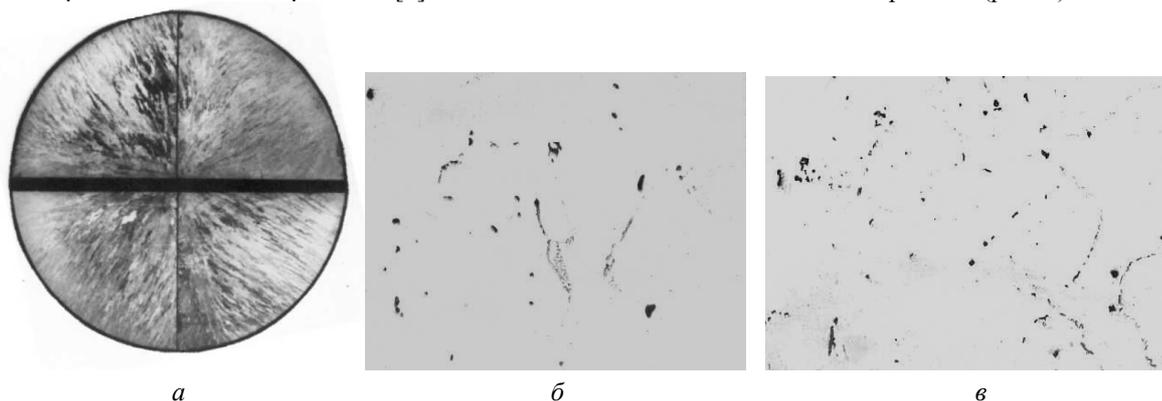


Рис. 3. Макроструктура (а) и микроструктура – включения (б, в) в литой заготовке ГКР, $\times 100$: б – сердцевина; в – периферийные слои

Как показали исследования, уровень механических свойств и величина зерна труб полностью удовлетворяют требованиям нормативной документации (таблица). При этом по результатам испытаний на МКК по методу АМУ металл труб, полученных по нетрадиционной технологии, обладает стой-

костью к МКК как в состоянии поставки, так и после провоцирующего нагрева при 650°C. По данным [2] подавление склонности к МКК существенно предотвращает развитие интеркристаллитного КР в стали типа X18H10.

Следует иметь в виду, что снижение содержания углерода и увеличение отношения Ti/C может привести к увеличению доли ферритной фазы в структуре стали 08X18H10T. В данном случае (см. рис. 4,б), увеличение ферритной фазы в одном из прокатанных вариантов не оказало отрицательного влияния на качественные показатели труб. Однако во избежание сложностей при гнбе и сварке элементов трубопроводов следует не допускать перегрева металла при горячей деформации до области температур, приводящих к выделению δ-феррита, а также вводить в сталь до 2% аустенитообразующего элемента – марганца, так как это принято в зарубежных стандартах.

Комплексное улучшение качества труб диаметром 325 мм из стали 08X18H10T достигнуто прежде всего в результате применения в качестве трубной заготовки слитка ГКР, характеризующегося равномерным распределением химических и структурных компонентов, снижения содержания углерода ($\leq 0,04\%$) и серы ($\leq 0,010\%$), уменьшения загрязненности неметаллическими включениями до 2...2,5 баллов, увеличения отношения $Ti/C \geq 12$, а также распределения температурно-деформационных параметров, обеспечивающих получение однородной рекристаллизованной структуры после горячей деформации.

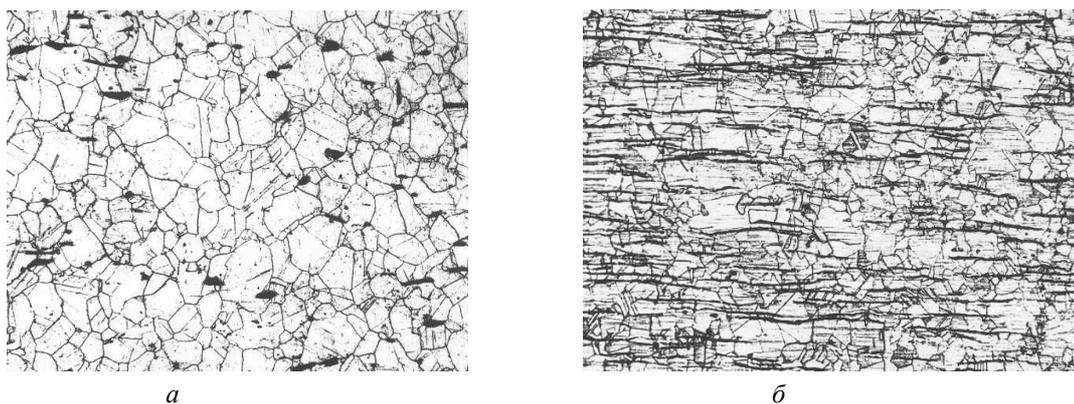


Рис. 4. Микроструктура труб $\varnothing 325 \times 16$ мм, полученных по новой технологии из литой заготовки ГКР, $\times 100$

Качество труб $\varnothing 325$ мм из стали 08X18H10T, полученных из литой заготовки ГКР

Состояние металла	Механические свойства при 20°C		σ_t , Н/мм ² при 350°C	Стойкость к МКК	Величина зерна, номер	УЗК
	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %				
Горячедеформированное без термообработки	571	67	206	стойкие	6...7, 100 % рекристал.	годн.
	575	66	227	стойкие	7...8, 100 % рекристал.	годн.
Нормы ТУ 14-3-197-89, ТУ 14-3Р-197-2001 для термообработанных труб	≥ 549	≥ 37	186...333	стойкие	≤ 4	годн.

Данные оценки параметров структуры труб, изготовленных по новой и традиционной технологии, полученные с помощью количественной металлографии, показали следующее. Более однородные и симметричные зёрна, что выражено через коэффициенты корреляции R (описывает разностерность) и асимметрии F (отношение поперечных длин хорд к продольным), формируются в трубах, полученных по новой технологии, где $R=0,61...0,71$; $F=0,96...0,98$. В трубах, полученных по традиционной технологии, эти коэффициенты несколько больше: $R = 0,75...0,87$; $F = 1,14...1,32$.

1. Установлена принципиальная возможность получения по новой технологии труб диаметром 325 мм из стали 08X18H10T с использованием в качестве трубной заготовки слитка газокислородного рафинирования. Качество полученных труб удовлетворяет требованиям, предъявляемым нормативными документами к материалам для атомной энергетики.

2. Показаны реальные пути улучшения материала трубопроводов в результате оптимизации химического состава стали 08X18H10T и повышения структурной однородности труб.

ВЫВОДЫ

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Т. Свистунова. Коррозионно-стойкие сплавы на основе никеля для сред особо высокой агрессивности // *Национальная металлургия*. 2003, № 1-2, с. 98–104.
- 2.Р.Н. Кичичев. Коррозионное растрескивание аустенитных хромоникелевых сталей и сплавов // *Металлы*. 2003, № 2, с. 61–66.
- 3.И.В. Горынин, Ю.М. Трапезников, В.Г. Марков, Р.Н. Гришмановская и др. Разработка и выбор материалов для быстрых реакторов с натриевым теплоносителем // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1999, № 9, с. 24–31.
- 4.А.П. Петкова. Особенности пластической деформации облученных аустенитных коррозионно-стойких сталей в температурном интервале 20...450°C // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение» (83)*. 2003. № 3, с. 83–88.
- 5.И.М. Неклюдов, А.Ф. Ванжа, Н.Д. Рыбальченко. Влияние легирования РЗМ и условий кристаллизации на микрохимическую неоднородность аустенитных нержавеющих сталей // *Труды XV Международной конференции по физике радиационных явлений и радиационному материаловедению*. Алушта. 2002, с. 246–247.
- 6.А.П. Дружков, В.Л. Арбузов, Д.А. Перминов. Влияние исходной микроструктуры на накопление и отжиг радиационных дефектов в аустенитных сплавах // *Труды XV Международной конференции по физике радиационных явлений и радиационному материаловедению*. Алушта. 2002, с. 26–27.
- 7.Т.Н. Буряк, В.С. Вахрушева, Е.Я. Лезинская. Формирование структуры и свойств в горячедеформированных трубах из коррозионностойкой стали для энергомашиностроения // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2003, № 1, с. 60–63.
8. Пат. 5385. Україна, МКП В 21В 23/00. *Способ изготовления труб із аустенітних сталей* /В.М. Друян, О.Я. Лезинська, Л.Г. Ковальова, О.В. Рабінович та ін. /Держ. наук.-дослідн. та констр.-технологічн. ін-т трубної промисловості; заявка № 94240522, заявл. 06.04.93. Опубл. 28.12.94; Бюл. № 7-1, 5 с.

ПРО ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТРУБОПРОВОДІВ АЕС ДІАМЕТРОМ 325 ММ ІЗ СТАЛІ 08Х18Н10Т

В.С. Вахрушева, Т.М. Буряк, О.Я. Лезинська

Виконана порівняльна оцінка металу труб діаметром 325 мм із сталі 08Х18Н10Т, одержаних за традиційною технологією з кованої заготовки і за новою технологією з литої заготовки газокисневого рафінування. Показано, що по рівню механічних властивостей, у тому числі межі текучості при 350°C, величині зерна, стійкості до міжкристалітної корозії, ультразвуковому контролю, труби, що одержані за новою технологією, повністю задовольняють вимогам технічних умов. Комплексне поліпшення їх якості досягнуте за рахунок зниження вмісту вуглецю, сірки, неметалевих включень, а також формування більш однорідної, повністю рекристалізованої структури порівняно з трубами, які одержано за традиційною технологією. Намічені реальні шляхи поліпшення матеріалу трубопроводів діаметром 325 мм із сталі 08Х18Н10Т.

ON INCREASE OF RELIABILITY OF NPS TUBING WITH DIAMETER 326 MM MANUFACTURED FROM STEEL08X18Ni10Ti

V.S. Vakhrisheva, T.N. Buryak, E.Ya. Lezinskaya

Comparable estimation of metal of pipes is executed by a diameter 325 mm from steel of 08H18N10T, got on traditional technology from the forged purveyance and on a new technology from the poured purveyance of gazo-kislorodnogo affinage. It is shown, that on the level of mechanical properties, including limit of fluidity at 350°C, to the size of corn, firmness to megkristallitnoy corrosion, to the ultrasonic control of pipe, got on a new technology fully suit technical terms. The complex improvement of their quality is attained due to the decline of maintenance of carbon, are grey, non-metal inclusions, and also forming of more homogeneous, fully rekristalizovannoy structures by comparison to the pipes got on traditional technology. The real ways of improvement of material of pipelines are set by a diameter 325 mm from steel of 08H18N10T.