

УДК 621.774:669.15-194:621.78:620.18

Вахрушева В.С., Буряк Т.Н., Лёткин А.М.,

Терещенко А.А., Чекмарёв В.В.

**ПОВЫШЕНИЕ КОМПЛЕКСА КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ТРУБ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ МАРОК СТАЛИ,
ПОСТАВЛЯЕМЫХ ПО ЗАРУБЕЖНЫМ СТАНДАРТАМ**

Запропоновані ресурсозберігаючі технології і вдосконалені параметри окремих технологічних процесів, сприяючі підвищенню конкурентоспроможності труб відповідно до вимог зарубіжних стандартів.

Предложены ресурсосберегающие технологии и усовершенствованны параметры отдельных технологических процессов, способствующие повышению конкурентоспособности труб в соответствии с требованиями зарубежных стандартов.

Power saving technologies and improved parameters of separate technological processes, cooperant the increase of competitiveness of tubes in accordance with the requirements of foreign standards are offered.

Введение

В настоящее время в Украине достаточно широко освоено производство труб из коррозионностойких марок стали по зарубежным стандартам, многие из которых содержат ряд специфических требований по механическим, технологическим, коррозионным испытаниям, неразрушающему контролю (ISO 13680, ASTM A312, ASTM A213).

Гарантией конкурентоспособности отечественных труб на внутреннем и на мировом рынке, является обеспечение в них комплекса как основных требований (химический состав, геометрические размеры, механические свойства при растяжении, стойкость к межкристаллитной коррозии), так и дополнительных требований (однородная по толщине стенки рекристаллизованная структура, стойкость к питтинговой коррозии и коррозионному растрескиванию под напряжением, скорректированные значения твёрдости) и др. Некоторые из указанных требований отсутствуют в отечественной документации при производстве труб из коррозионностойких сталей по ГОСТ 9940, ГОСТ 9941, ТУ 14-3-197-89, ТУ 14-3-219-89 и др.

Полученные научно-технические результаты. Как показывает опыт, формирование в заводских условиях регламентированного комплекса структуры и свойств в металле труб из высоколегированных марок коррозионностойкой стали является весьма сложной пробле-

мой, решение которой во многом зависит от целого ряда факторов – условий выплавки, разливки, кристаллизации, пластической деформации, термической обработки, правки и т.д.

Для обеспечения требуемого уровня качества труб первым этапом является получение качественной заготовки. Проведенный анализ показывает, что традиционно при производстве нержавеющей труб доминирует деформированная трубная заготовка (послековки или горячей прокатки), которая обычно характеризуется значительной неоднородностью структуры и свойств (рис. 1), что затрудняет их равномерное формирование на регламентированном уровне в трубах. Однако в мировой практике широко используется недеформированная заготовка, в частности, непрерывнолитая.

В предшествующие годы трубным институтом проведены исследования на предмет получения труб непосредственно из недеформированной литой заготовки (после стационарного, центробежного и непрерывного литья) [1-3]. Приёмы современной специальной электрометаллургии на стадиях внепечной обработки, в т.ч. литья и кристаллизации, позволяют регулировать процессы структурообразования в отливках, существенно уменьшив макроликвацию. Установлено, что благоприятно выбранная схема и величина деформации, позволяют уже на первом горячем переделе трансформировать исходную дендритную структуру в однородную рекристаллизованную без проведения дополнительной термической обработки горячедеформированных труб.

Положительные результаты применения литых заготовок подтверждены получением труб различных видоразмеров (диаметром от 2,3 мм до 325 мм) из стали марок 08X18H10T (аналог ТР 321), ТР 304 (аналог 03...06X18H10), 12X18H10T (аналог ТР 321H), 03X17H14M2 (аналог ТР 316L), 09X16H15M3Б, хромо-никелевого сплава ХН40МГБТЮ (табл. 1), по механическим свойствам, коррозионной стойкости, величине зерна, соответствующих нормативным требованиям.

Кроме того, применение литой недеформированной заготовки, например, после непрерывного литья, имеет несомненные экономические преимущества перед деформированной в виду сокращения энергозатрат и снижения расходного коэффициента металла, связанного с исключением операций нагрева, деформации, механической обработки.

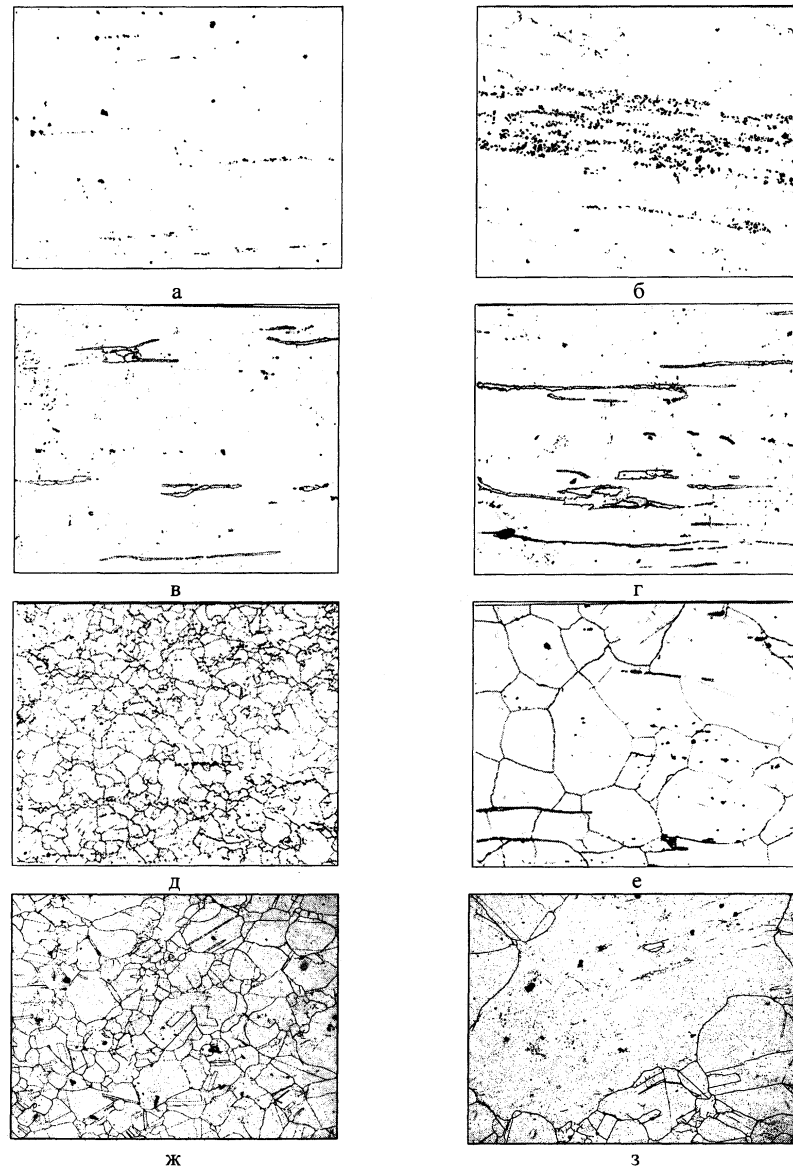


Рисунок 1- Микроструктурная неоднородность по сечению кованой заготовки из коррозионнстойкой стали на аустенитной основе в поверхностных слоях (а, в, д, ж) и в сердцевине (б, г, е, з): а, б – неметаллические включения; в, г – ферритная фаза; д, е – зёренная структура (сталь 08X18H10T); ж, з – зёренная структура (сталь TP304L)

Следующим направлением обеспечения конкурентоспособности труб, является повышение их технологической пластичности при изготовлении крутоизогнутых деталей и элементов трубопроводов и эксплуатационной надёжности. Как свидетельствует [4], основными видами разрушений трубопроводов и трубных систем из коррозионнстойких сталей являются межкристаллитная и питтинговая коррозия, коррозионное растрескивание под напряжением в процессе эксплуатации. Важным этапом является возможность изготовления

U-образных элементов без образования трещин и надрывов в трубах, для этого твердость металла труб не должна превышать 80 HRB [5], при существующих в стандартах ASTM A312 и ASTM A213 нормах не более 90 HRB.

Таблица 1

Качественные показатели труб, полученных по новым технологиям из литой недеформированной заготовки

№ п/п	Марка материала, размер трубы, мм	Массовая доля углерода, %	Размер зерна, мкм	Механические свойства (20°C)		Склонность к МКК
				σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %	
1	ХН40МГБТЮ Ø 2,3×0,3	<u>0,009-0,011</u> ≤ 0,02	<u>23-34</u> 23-49	<u>640-650</u> ≥ 539	<u>42-44,5</u> ≥ 35	<u>стойкие</u> стойкие
2	03X17H14M3 Ø 14×2	<u>0,003-0,02</u> ≤ 0,03	<u>23-34</u> не реглам.	<u>600-605</u> 490-690	<u>46-48,5</u> ≥ 40	<u>стойкие</u> стойкие
3	12X18H10T Ø 25×3	<u>0,04-0,085</u> ≤ 0,12	<u>16-23</u> не реглам.	<u>545-580</u> ≥ 549	<u>36-45</u> ≥ 37	<u>не оценивали</u> за потребностью
4	TP304 (типа 06X18H10) Ø 30,162×1,65	<u>0,035-0,059</u> ≤ 0,08	<u>31-44</u> не реглам	<u>617-706</u> ≥ 515	<u>33,5-</u> <u>35,5</u> ≥ 35	<u>стойкие</u> стойкие
5	08X18H10T Ø325×16	<u>0,038-0,04</u> ≤ 0,08	<u>22-44</u> ≤ 88	<u>571-575</u> ≥ 549	<u>66-67</u> ≥ 37	<u>стойкие</u> стойкие

В числителе – фактические показатели качества труб; в знаменателе – требования НД: ТУ 14-3-1314-85(1); DIN 17458-85(2); ГОСТ 9941-81(3); ASTM A 213/A213M-92(4); ТУ 14-3-197-89(5)

Проведенные исследования показали, что оптимальным для обеспечения стойкости к МКК металла тепलोдеформированных труб из стали TP 304L и TP316L является формирование аустенитного зерна №№ 8-10, при этом HRB в 60% превышает 80 и может достигать 90 и более единиц. Такое состояние характеризуется повышенным уровнем остаточных напряжений I рода, где σ_t достигает 7...8 кгс/мм².

Поэтому для комплексного обеспечения коррозионной стойкости и технологической пластичности разработаны режимы термической обработки и правки труб, направленные на снижение уровня остаточных напряжений. Суть предложенных режимов заключалась в том, что температуру нагрева под закалку выбирали из условия формирования величины зерна в трубах не менее № 7 (№ 6,5) по шкалам стандарта ASTM E112, а правку готовых труб осуществляли в два прохода таким образом, чтобы величины изгибающих усилий превышали максимальные упругие значения металла труб не более, чем на 5-8%. Остаточные напряжения σ_t составили -2,24...-3,19 кгс/мм².

При проведении экспериментов руководствовались тем, что в практике производства труб из высоколегированных коррозионно-стойких сталей известна весьма жёсткая зависимость между величиной зерна, механическими и технологическими свойствами, коррозионной стойкостью.

Особо следует отметить, что все исследованные образцы от труб из стали TP 304L и TP 316L выдержали испытания на МКК как с внутренней, так и с наружной поверхностей, что во многом обусловлено достаточно однородной рекристаллизованной структурой (рис. 2) с наличием двойниковых низкоэнергетических границ (рис. 2, в, г). Это подтверждает стабильность и совершенство структуры, сформировавшейся по скорректированным режимам термообработки, и положительно влияет на комплекс свойств. Укрупнение зерна до №№ 7, 6 в трубах, полученных в процессе эксперимента (в трубах, изготовленных по традиционной технологии, доминирует мелкое зерно №№ 8...10), должно способствовать уменьшению питтингообразования [6]. Это объясняется меньшей протяжённостью границ в крупнозернистой структуре, как мест потенциального появления очагов питтинговой коррозии, т.к. их зарождение обычно происходит на границах раздела.

Кроме того, при определении остаточных напряжений I рода по методу Давиденкова обнаружены сжимающие напряжения (со знаком минус). В этой связи следует принимать во внимание, что наличие напряжений сжатия положительно влияет на некоторые свойства труб, в частности, повышает стойкость к коррозионному растрескиванию под напряжением и чем ниже в целом уровень остаточных напряжений, тем выше сопротивление металла этому виду коррозии.

Кривизна труб, полученных по скорректированным режимам, удовлетворяет требованиям и составляет менее 1 мм на 1 м трубы. Применённая схема двухпроходной правки со снижением усилий также положительно влияет на уменьшение овализации трубы, в частности на концевых участках (обеспечивается круглость поперечного сечения).

Из приведенных в табл. 2 данных видно, что трубы из стали TP 304L и TP 316L удовлетворяют основным и дополнительным требованиям стандартов ASTM, обладают необходимым уровнем твёрдости ($HRB \leq 80$), который обеспечивает технологическую пластичность при гибке.

Эксперименты проведены на трубах, полученных способами тёплой и холодной прокатки, безоправочного волочения. Представляет-

ся, что в трубах, полученных способами холодной деформации, предотвращается науглероживание поверхности и тем самым исключается вредное влияние смазки на графитовой основе, применяемой при тёплой прокатке. Это положительно влияет как на коррозионную стойкость, так и на снижение упрочнения поверхностных слоёв труб.

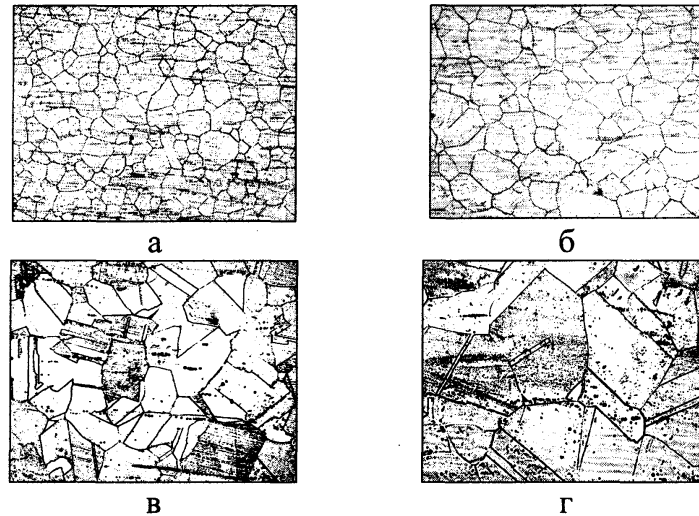


Рисунок 2 - Микроструктура холоднодеформированных труб, полученных по усовершенствованным режимам термообработки и правки: а, в – сталь TP 304L; б, г – сталь TP 316L; а, б – травление на границы общего типа; в, г – травление на низкоэнергетические границы;

Таблица 2

Качественные показатели труб из коррозионностойких марок стали, обработанных по скорректированным режимам термообработки и правки

Марка стали, размер труб, мм	Способ деформации	Механические свойства			HRB	МКК	Величина зерна, №
		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %			
304L Ø28×2,0	тёплая прокатка	510	227	47	77	стойкие	7
304L Ø24,5×2,11	холодная прокатка	620	305	47	77	стойкие	6
316L Ø12,7×1,2	холодная прокатка	530	230	57	63	стойкие	6,5
316L Ø10×5	холодное б/о волочение	–	–	–	78	стойкие	6
304L Ø10×5	холодное б/о волочение	–	–	–	64	стойкие	7
Требования ASTM A312; ASTM A213	–	н.м. 485	н.м. 170	н.м. 35	н.б. 90 (по треб. н.б. 80)	стойкие	–

Выводы

1. На основании требований регламентируемых современными потребителями, обоснованы условия формирования структуры и свойств, обеспечивающих технологическую пластичность и коррозионную стойкость в металле труб, изготавливаемых по зарубежным стандартам.

2. Предложены ресурсосберегающие и экологически чистые технологии производства труб из коррозионностойких марок стали с контролируемыми параметрами качества металла, включающие комплексные мероприятия по использованию литой недеформированной заготовки, корректировке режимов закалки и правки готовых труб.

3. Показано, что полученные в ходе эксперимента трубы, соответствуют основным и дополнительным требованиям зарубежных стандартов ASTM A312 и ASTM A 213 по твердости, уровню механических свойств при растяжении, стойкости к межкристаллитной коррозии, кривизне и др., имеют однородную рекристаллизованную структуру.

4. Полученные результаты могут быть адаптированы при производстве различных видоразмеров труб по отечественным и зарубежным стандартам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вахрушева В.С., Буряк Т.Н., Лезинская Е.Я., Ярошенко Н.В. Управление структурой и свойствами труб специального назначения из коррозионностойких марок стали// Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. - № 3. – С.
2. Буряк Т.Н. О применении литых заготовок при производстве труб для атомной энергетики//Теория и практика металлургии. – 2003.-№5-6. – С. 92-96.
3. Остренко В.Я., Гейко И.К., Рассадин С.Я., Васюченко В.Е., Симоненко О.А. Деформируемость полых непрерывнолитых заготовок из стали 1-Х23Н18// Тематический сб.: Производство труб. – М.: Металлургия, 1978. - № 4. – С. 9-15.
4. Hamada H. The Influence of Carbon Content In Austenitic Stainless Steel or Corrosion Behavior of Several Corrosion Environments//Technical Documents for Seamless Stainless Steel tupe and pipe. – Kobe Steel, LTD, Japan. – Booklet № 75S1, 1975. – 17 p.
5. Hamada H. Bending Method and Material Characteristics on U-Bent Portion of TP 304 Stainless Steel Tube//Technical Documents for Seamless Stainless Steel tupe and pipe. – Kobe Steel, LTD, Japan. – Booklet № 75S2, 1975. – 18 p.
6. Ульянин Е.А. Коррозионностойкие стали и сплавы.: М.: Металлургия, 1991. – С. 24-36.