УДК 621.774:620.193

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРУБ, ВИГОТОВЛЕНИХ З БЕЗПЕРЕРВНО ЛИТОЇ НЕДЕФОРМОВАНОЇ ТРУБНОЇ ЗАГОТІВКИ З КОРОЗІЙНО ТРИВКОЇ СТАЛІ

Т. О. Дергач

ДП «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут трубної промисловості ім. Я.Ю. Осади», м. Дніпропетровськ

Вступ

Одним із шляхів енергозбереження і підвищення рентабельності трубного виробництва є використання при виготовленні труб безперервно литої недеформованої трубної заготівки. У той час, як така технологія виробництва труб зі сталі 20 і ряду низьколегованих сталей достатньо освоєна, для виготовлення труб з корозійно тривких сталей у вітчизняній і зарубіжній практиці дотепер традиційно використовують гаряче деформовану трубну заготівку, виготовлену зі сталі, розлитої у стаціонарні виливниці.

Метою дослідження явилося встановлення можливості використання безперервно литої недеформованої трубної заготівки з корозійно тривкої феритно-аустенітної (дуплексної) сталі UNS S 31803 (02Х22Н5АМ3) для виготовлення товарних гарячепресованих і холоднокатаних труб, які відповідають вимогам вітчизняних і зарубіжних стандартів. Робота проведена на підприємстві ЗАТ «СЕНТРАВИС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН», м. Нікополь.

Матеріал і методи досліджень

Матеріалом дослідження служила дослідна безперервно лита недеформована трубна заготівка ∅ 180 мм зі сталі UNS S 31803 (02Х22Н5АМ3) виробництва фірми «Arcelor Mittal», Франція (табл. 1) і виготовлені з неї гарячепресовані й холоднокатані труби.

Таблиця 1

Хімічний склад безперервно литої недеформованої трубної заготівки зі сталі 02Х22Н5АМ3

№ плавки	Вміст елементів %									
	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Mo	Ni	V
QE862	0,021	0,50	1,80	0,019	0,001	0,18	22,12	3,35	5,20	0,04
Вимоги ASTM 790	не більше					0,08–0,2	22,0–23,5	2,5–3,5	3,5–5,5	–
	0,030	1,0	2,0	0,030	0,020					

Досліджували мікроструктуру, тривкість до міжкристалітної корозії (МКК), пітінгової корозії (ПК) і корозійного розтріскування (КР), а також механічні властивості трубної заготівки і труб. Результати порівнювали з аналогічними даними для гаряче деформованої трубної заготівки і труб з неї .

Випробування на тривкість до МКК проводили у слабкоокислюваних середовищах за методами АМУ, ГОСТ 6032 і В, ISO 3651-2 (після провокуючих нагрівів зразків при температурі 550 °С протягом 60 хвилин з охолодженням на повітрі та при 700 °С, 30 хвилин з охолодженням у воді відповідно). Випробування на тривкість до пітінгової корозії проводили за

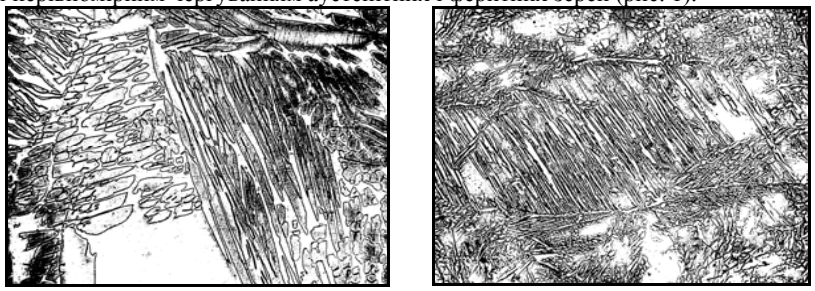
методом А стандарту ASTM G-48, що полягає у витримці зразків протягом 72 годин у 10%-му розчині хлорного заліза $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ з наступною оцінкою питомої втрати ваги і наявності пітінгів на поверхнях зразків. Випробування на тривкість до корозійного розтріскування здійснювали за стандартом ASTM G-36 – кип'ятінням U-подібно здеформованих на оправці діаметром 16 мм пласких зразків розмірами 3×10×80 мм, а також здеформованих у поперечному напрямку кільцевих С-подібних зразків від тонкостінних труб у 54%-му розчині хлориду магнію при температурі 155 С° до появи першої тріщини, видимої при збільшенні 20$^{\times}$.

Аналіз результатів досліджень

Аналіз хімічного складу дослідної безперервно литої недеформованої трубної заготівки показав, що вона відповідає вимогам ASTM 790, за яким була виготовлена. Разом з цим, заготівка містить домішки карбідоутворюючого елементу ванадію (таблиця 1), який не регламентується зазначеним стандартом, але згідно з літературними даними несприятливо впливає на тривкість до пітінгової корозії й корозійного розтріскування феритних, феритно-аустенітних і аустенітних корозійно тривких сталей внаслідок підвищення міцності сталі й утворення в її структурі неметалевих включень [1–3]. Еквівалент опірності пітінговій корозії (Pitting Resistance Equivalent), що визначається залежністю: PRE = %Cr + 3.3×%Mo + 16×%N, відповідає 36,06 і досить близький до максимального PRE для даної марки сталі, який складає 37,7 [4].

Макроструктура безперервно литої недеформованої трубної заготівки в цілому задовільна, центральна пористість, точечна неоднорідність і ліквацiйний квадрат відповідають балу 0. У центрі заготівки спостерігали осьову пухкість, обумовлену способом виплавлення сталі. Макрозерна на периферії заготівки витягнуті в напрямку від її бічної поверхні до центру, їх розміри складають 12–15 мм, у центральній зоні макрозерна відносно рівновісні.

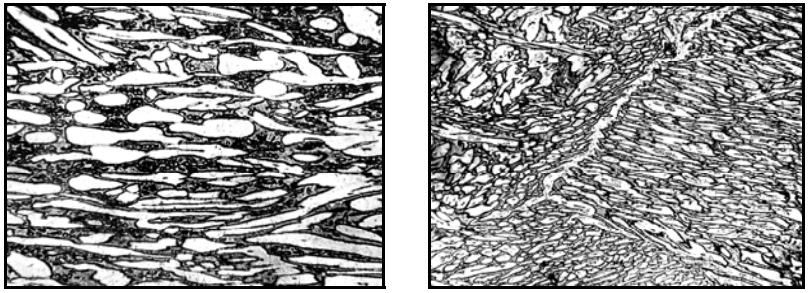
Мікроструктура заготівки характеризується ліквацiйною неоднорідністю і нерівномірним чергуванням аустенітних і феритних зерен (рис. 1).



а ***Б***

Рис. 1. Мікроструктура в центральній (*а*) і периферійній (*б*) зонах Безрперервно литої трубної заготівки зі сталі 02Х22Н5АМ3, × 100.

Вона відрізняється від мікроструктури гарячекатаних трубних заготівок, розлитих у стаціонарні виливниці (рис. 2).



а ***б***

Рис. 2. Мікроструктура в центральній (*а*) і периферійній (*б*) зонах гарячекатаної трубної заготівки зі сталі 02Х22Н5АМ3, × 100.

Дослідна трубна заготівка витримала випробування на тривкість до МКК за методами АМУ, ГОСТ 6032, і В, ISO 3651-2. Тріщини на поверхнях Z-подібного вигину зразків після випробувань були відсутні. При випробуванні на трівкість до ПК при температурі 22 °С швидкість корозії зразків трубної заготівки не перевищувала 0,0001 г/см^2 (табл. 3), що відповідає вимогам ASTM G-48. Швидкість корозії зразків з центральної зони була вищою, ніж з периферійної, що обумовлено способом розливання і охолодження сталі. При випробуванні при 40 °С швидкість корозії зразків, особливо з центральної зони, значно підвищилася. На поверхнях останніх з′явилися пітінги діаметром до 0,7 мм (рис. 3), у той час, як на поверхнях периферійних зразків пітінги були відсутні (табл. 3).

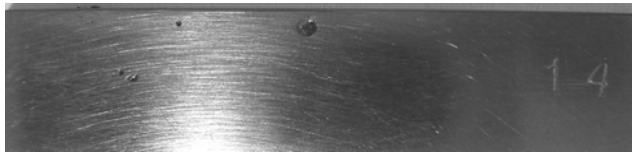


Рис. 3. Зразок з центру безперервно литої недеформованої трубної заготівки зі сталі 02Х22Н5АМ3 після випробування на тривкість до ПК при 40 °С.

При випробуванні зразків безперервно литої недеформованої трубної заготівки на тривкість до КР за ASTM G-36 перші волосяні тріщини, видимі при збільшенні 20$^{\times}$, з'явилися на їх вигинах через 15–20 годин. При продовженні випробувань спостерігали корозійне розтріскування, яке носило транскристалітний характер (рис. 4). Корозійне розтріскування зразків гарячекатаної трубної заготівки зі сталі UNS S 31803 промислового виробництва також відбувалося через 15–20 годин випробувань.

Таблиця 3

Результати випробувань зразків трубної заготівки на тривкість до ПК

Кількість зразків	Питома втрата ваги зразків, г/см^2, при t, °С		Примітка
	22	40	
12	0,00001–0,00004	0,00009–0,00019	периферія, пітінги на поверхнях зразків відсутні
12	0,00006–0,00008	0,00112–0,00190	центр заготівки, пітінги на поверхнях зразків при 40 °С

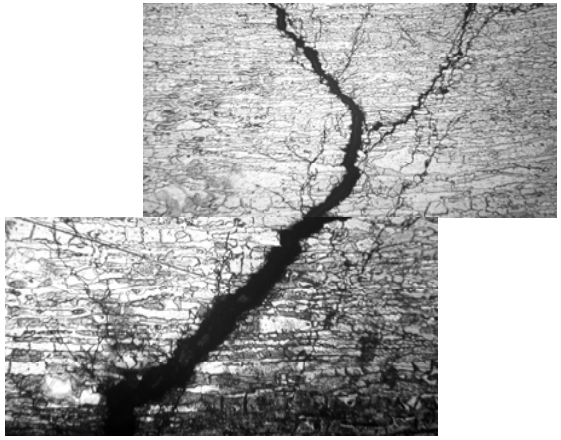
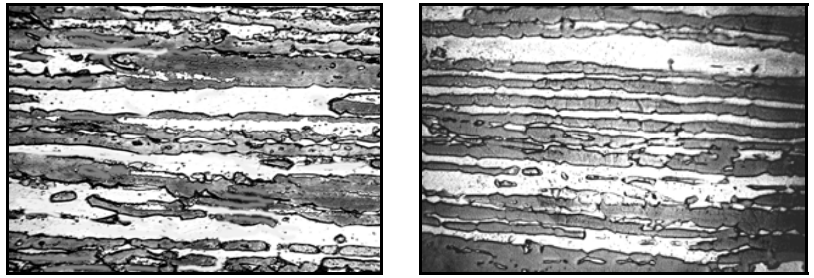


Рис. 4. Структура тріщини в U-подібному зразку безперервно литої трубної заготівки зі сталі 02Х22Н5АМ3 після тривалих випробувань на тривкість до КР,× 50.

З дослідної безперервно литої трубної заготівки були виготовлені гарячепресовані труби розмірами ∅ 95×10 мм і холоднокатані труби розмірами ∅ 20×1,6 мм. Гаряче пресування суцільних трубних заготівок ∅ 180 мм у труби ∅ 95×10 мм здійснювали на горизонтальному гідравлічному пресі зусиллям 31,5 МН при температурі ~ 1150 С° з деформацією близько 90%. Холодні прокатки труб здійснювали на станах пільгерного типу ХПТ з проміжними і кінцевими хіміко-технологічними і термічними обробками та правками.

Пресування забезпечило утворення в гарячепресованих трубах досить однорідної феритно-аустенітної мікроструктури, яка представляла витягнуті у напрямку деформації феритні й аустенитні зерна зі співвідношенням феритної і аустенітної фаз приблизно 50% і 50% (рис. 5 *а*) аналогічній тій, яка утворюється в гарячепресованих трубах, виготовлених з гарячекатаної трубної заготівки масового виробництва (рис. 5 *б*).

Результати корозійних випробувань зразків гарячепресованих труб були аналогічні отриманим на зразках трубної заготівки, крім випробувань на тривкість до пітінгової корозії. Гарячепресовані труби після термічної обробки (гартування від 1050–1070 °С) володіли значно вищою тривкістю до ПК у порівнянні з трубною заготівкою. Питома втрата ваги їх зразків при випробуванні при 40 °С склала від 0,000023 до 0,000054 г/см^2, тобто не перевищувала гранично допустимого згідно з ASTM G-48 значення 0,0001 г/см^2, пітінги на поверхнях зразків після випробувань були відсутні (рис. 6).



А *б*

Рис. 5. Мікроструктура гарячепресованої труби ∅ 95×10 мм, виготовленої з безперервно литої недеформованої (а) і з гарячекатаної (б) трубних заготівок зі сталі 02Х22Н5АМ3, × 400.

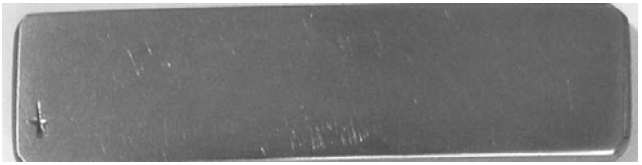


Рис. 6. Зразок гарячепресованої труби, виготовленої з безперервно литої трубної заготівки, після випробування на тривкість до ПК при 40 °С.

Виготовлення холоднокатаних труб розмірами ∅ 20×1,6 мм здійснювали за звичайним для даної марки сталі маршрутом деформації:

∅ 95 × 10 (гарячепресована переробна труба)⇒

∅ 70 × 7,5 ХПТ-75, термообробка, травлення, правка⇒

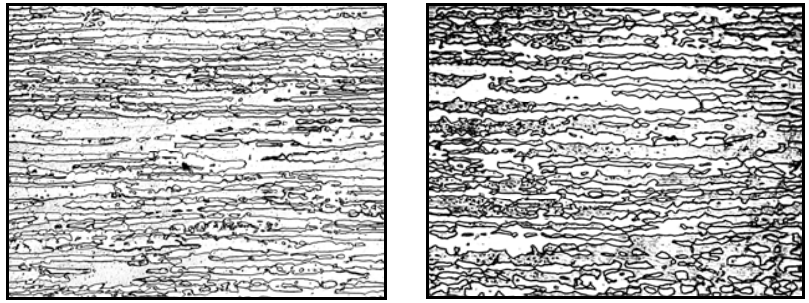
∅ 57 × 5,4 ХПТ-55, термообробка, травлення, правка⇒

∅ 38 × 2,9 ХПТ-55, термообробка, травлення, правка⇒

∅ 20 × 1,6 ХПТ-32, термообробка, травлення, правка, ⇒ готова труба.

Ступінь деформації при холодній покатці дорівнювала 60–65%. Термічну обробку холодно катаних труб проміжних і готового розмірів здійснювали при температурі 1060–1070 °С з гартуванням у воді. При холодній прокатці була відзначена задовільна здатність сталі до деформаціїї, така сама, як при прокатці труб з гарячекатаної трубної заготівки.

Встановлено, що в процесі холодних деформацій і наступних термічних обробок відбулося подальше подрібнення мікроструктури сталі й підвищення ступеню її однорідності (рис. 7 а). Мікроструктура холоднокатаних труб, отриманих з безперервно литої недеформованої трубної заготівки аналогічна наявної у трубах, виготовлених з гарячекатаної заготівки (рис. 7 б*)*. Вміст феритної й аустенітної фаз в структурі труб становить приблизно по 50% кожної.



а б

Рис. 7. Мікроструктура холоднокатаних труб ∅ 20×1,6 мм зі сталі 02Х22Н5АМ2, виготовлених з недеформованої (а) і гарячекатаної (б) трубної заготівки × 400.

Зразки холоднокатаних труб витримали випробування на тривкість до МКК, а також до ПК при температурі 22 °С, проте при температурі 40 °С швидкість їх пітінгової корозії була підвищеною і склала 0,0004–0,0009 г/см^2, в основному за рахунок утворення пітінгів на торцях і бокових зрізах зразків (рис. 8). Понижена тривкість до ПК зразків дослідних холоднокатаних труб у порівнянні з гарячепресованими спостерігалася також на трубах, виготовлених з гарячекатаної трубної заготівки. Вона може бути обумовлена: подрібненням структури й збільшенням внаслідок цього поверхні міжфазних границь, на яких відбувається зародження пітінгів; збільшенням анізотропії структури в результаті холодної деформації; наявністю залишкових напружень в металі холоднокатаних труб навіть після термічної обробки, а також дефектами прокатного походження на поверхнях зразків холоднокатаних труб.

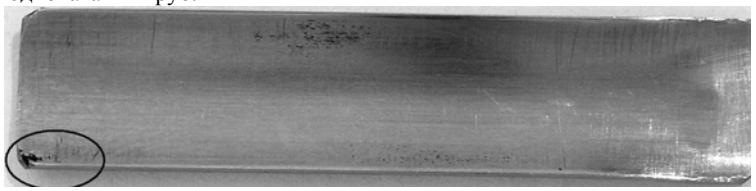
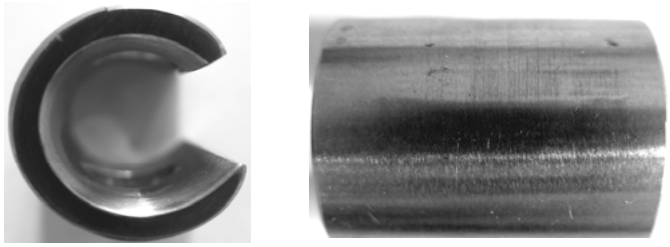


Рис. 8. Зразок холоднокатаної труби, виготовленої з безперервно литої недеформованої трубної заготівки сталі 02Х22Н5АМ3 після випробування на тривкість до ПК при 40 °С.

При випробуванні на тривкість до КР тріщини на вигинах U-подібних зразків-сегментів з'явилися через 10–15 годин випробувань, тобто швидше, ніж на зразках гарячепресованих труб, що мабуть обумовлено більш високими напругами, які утворюються у зразках-сегментах у порівнянні з пласкими зразками від трубної заготівки і товстостінних труб. При випробуванні тепло катаних труб на тривкість до КР на С-подібних зразках при розтягуючих напругах, які дорівнювали регламентованій згідно з ASTM 790 межі міцності ($\sigma_{0,2}$) труб зі сталі 02Х22Н5АМ3 (450 МПа), а також 0,8 $\sigma_{0,2}$ (360 МПа), тріщини на вершинах зразків не з'явилися навіть за 72 години випробувань (рис. 9).



а ***б***

Рис. 9. Зовнішній вигляд (а) і вигляд поверхні (б) кільцевого С-подібного зразка холоднокатаної труби зі сталі 02Х22Н5АМ3 після випробувань на тривкість до КР за ASTM G-36 протягом 72 годин при напрузі 450 МПа.

Випробуваннями механічних властивостей холоднокатаних труб після термічної обробки і наступної правки (у стані постачання) встановлено, що вони значно перевершують вимоги стандарту ASTM 790, згідно з яким були виготовлені (табл. 3) й знаходяться на рівні аналогічних показників для труб зі сталі 02Х22Н5АМ3 штатного виробництва.

Таблиця 3

Механічні властивості холоднокатаних труб, виготовлених з Безперервно литої недеформованої трубної заготівки зі сталі 02Х22Н5АМ3

розмір, мм	Механічні властивості			
	$\sigma_в$, Н/мм^2	$\sigma_{0,2}$, Н/мм^2	δ_5, %	Примітка
∅20×1,6	790–810	520–540	34–35	після термообробки
	910–915	610–640	34–38	після т. о. і правки
Вимоги ASTM 790	не менше			–
	620	450	25	–

Підвищена міцність труб з дуплексної сталі 02Х22Н5АМ3 може негативно впливати на їх тривкість до пітінгової корозії і корозійного розтріскування. Для її зниження вважаємо за доцільне зниження вмісту марганцю в сталі до не більше 1% і виключення домішок зміцнюючого карбідоутворюючого елементу ванадію.

Аналіз отриманих результатів показує, що гарячепресовані й холоднокатані труби, виготовлені з безперервно литої недеформованої трубної заготівки з корозійно тривкої феритно-аустенітної сталі UNS S 31803 (02Х22Н5АМ3) мають задовільну мікроструктуру, тривкість до МКК, ПК і КР та за всіма якісними показниками відповідають вимогам вітчизняних і зарубіжних стандартів. Труби передані споживачеві для промислового використання.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що безперервно лита недеформована трубна заготівка з корозійно тривкої феритно-аустенітної сталі UNS S 31803 (02Х22Н5АМ3) поставки фірми «Arcelor Mittal», Франція, має задовільний хімічний склад, макро- та мікроструктуру і тривкість до МКК та володіє задовільною технологічною пластичністю при гарячій і холодній деформації в процесі трубного переробу.
2. Гарячепресовані і холоднокатані труби, виготовлені на ЗАТ «СЕНТРАВИС» з безперервно литої недеформованої трубної заготівки мають задовільну мікроструктуру, тривкість до МКК, ПК і КР й високі механічні властивості та відповідають трубам, отриманим з гарячекатаної трубної заготівки.
3. Встановлена можливість використання безперервно литої недеформованої трубної заготівки з корозійно тривкої сталі UNS S 31803 (02Х22Н5АМ3) для виготовлення промислових партій гарячепресованих і холоднокатаних труб, які відповідають вимогам вітчизняних і зарубіжних стандартів.

Література

1. Герасимов В. И., Харина И. Л., Ершов Н. С., Рябченков А. В. Влияние легирования на стойкость против питтинговой коррозии хромистых сталей в хлоридсодержащих средах при промышленной температуре. // Матер. Всесоюзной науч.-техн. конф. «Прогрессивные методы и средства защиты металлов и изделий от коррозии». – М. : 1988. – Ч. 1. – С. 35–36.
2. Бесшовные трубы из нержавеющей стали. Матер. техн. симп. фирмы «Кобэ Стил», Япония. – 1985. – 84 с.
3. CC Technologies, Final Report R 212-01 «Investigation of Corrosion Resistance of Duplex and 4-6% Mo-containing Stainless Steels in FGD-Scrubber Absorber Slurry Environments», December 20. – 1995.
4. F. Dupoiron, J-P. Audouard, M. Verneau «Metallic Solutions for Pollution Control Systems: Behavior of Welded/Unwedded High Alloyed Materials», Corrosion NACE 1995, Orlando, FL. – 1995.