



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA**

(11) **68801**

(13) **U**

(51) МПК

**C21D 9/08** (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2011 11595**

(22) Дата подання заявки: **30.09.2011**

(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **10.04.2012**

(46) Публікація відомостей **10.04.2012, Бюл.№ 7**  
про видачу патенту:

(72) Винахідник(и):

**Дергач Тетяна Олександрівна (UA),  
Северіна Любов Семенівна (UA),  
Сухомлин Георгій Дмитрович (UA),  
Круцан Ганна Михайлівна (UA),  
Панченко Сергій Анатолійович (UA),  
Кравченко Олег Юрійович (UA),  
Балєв Андрій Євгенович (UA),  
Головачук Олександр Павлович (UA)**

(73) Власник(и):

**ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО "НАУКОВО-  
ДОСЛІДНИЙ ТА КОНСТРУКТОРСЬКО-  
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ТРУБНОЇ  
ПРОМИСЛОВОСТІ ІМ. Я.Ю. ОСАДИ",  
вул. Писаржевського, 1-а, м.  
Дніпропетровськ-5, 49600 (UA),  
ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО  
"СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН",  
пр. Трубників, 56, м. Нікополь, 53201 (UA)**

## (54) СПОСІБ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ТРУБ З КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ ФЕРИТНО-АУСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ

(57) Реферат:

Спосіб термічного оброблення труб з корозійностійких феритно-аустенітних сталей шляхом їх гартування у воду при температурі 1030-1080 °С. Труби піддають додатковому гартуванню у воду при температур 1120-1200 °С з витримкою при нагріві.

**UA 68801 U**



Корисна модель належить до трубного виробництва й може бути використана при виготовленні з корозійностійких феритно-аустенітних сталей, зокрема, хромонікелевих і хромонікельмолібденових (дуплексних і супердуплексних) труб, гаряче- і холоднодеформованих, до яких пред'являються високі вимоги по стійкості до пітингової корозії (ПК) і корозійного розтріскування (КР) у хлоридвміщуючих середовищах при підвищених температурах.

Труби з корозійностійких феритно-аустенітних сталей мають високу стійкість до міжкристалітної корозії (МКК), але можуть мати пониженою стійкість до пітингової корозії (ПК) й недостатню стійкість до корозійного розтріскування (КР) в агресивних хлоридвмісних середовищах при підвищених температурах, наприклад, при експлуатації у випарному, теплообмінному або іншому устаткуванні - у хімічній, нафтохімічній, целюлозно-паперовій, харчовій промисловостях, в атомній енергетиці, при виробництві мінеральних добрив тощо. Це призводить до швидких наскрізних корозійних ушкоджень труб у процесі експлуатації, передчасного виходу з ладу всього устаткування, ремонтним простоям, необхідності частої заміни дорогих труб, а також до погіршення умов праці й забруднення навколишнього природного середовища. Тому згідно з сучасними вимогами споживачів і промисловості труби із зазначених сталей повинні мати крім високої стійкості до МКК також високу стійкість до пітингової корозії і корозійного розтріскування у хлоридвмісних середовищах при підвищених температурах, крім того, мати структуру зі співвідношенням феритної й аустенітної фаз приблизно 50 % і 50 %, яка забезпечує оптимальні експлуатаційні властивості, а також мати високу міцність й пластичність, необхідними для труб, що працюють в агресивних середовищах при підвищених температурах і тиску.

Відомий спосіб термічного оброблення труб та інших виробів з корозійностійких феритно-аустенітних сталей, який полягає у гартуванні у воду після нагріву до температури 1100 °С (Ульянин Е.А. Коррозионно-стойкие стали и сплавы. Справочник. - М., 1980.-208 с.).

Вказана термічна обробка не забезпечує високу стійкість труб з феритно-аустенітних сталей до пітингової корозії та корозійного розтріскування у хлоридвмісних середовищах при підвищених температурах, оскільки при цьому збільшується вміст феритної фази в структурі сталі й порушується оптимальне співвідношення (50 і 50 %) феритної та аустенітної фаз, крім цього, не відбувається повного розчинення шкідливих інтерметалідів та надлишкових фаз в структурі феритно-аустенітних сталей, особливо з підвищеним вмістом хрому і молібдену, наприклад  $\sigma$ -фази (Fe-Cr-Mo), які можуть існувати у зазначених сталях і несприятливо впливають на стійкість до пітингової корозії та корозійного розтріскування у зв'язку зі збідненням приграничних ділянок міжфазних границь хромом і молібденом, а також на механічні й технологічні властивості труб через крихкість зазначених фаз.

Відомий також спосіб термічного оброблення труб з корозійностійких феритно-аустенітних сталей шляхом їх гартування у воду при температурі 1030-1080 °С (Ж. Металлургическая и горнорудная промышленность, 2008. № 3, С. 57-63).

Вказаний режим не забезпечує необхідної гомогенізації хімічного складу і структури сталі, а також розчинення імовірних шкідливих інтерметалідних фаз з підвищеним вмістом хрому і молібдену. Внаслідок цього такі труби можуть мати пониженою стійкість до локальних видів корозії, особливо до пітингової корозії у хлоридвмісних середовищах при підвищених температурах, і пониженою пластичністю (відносно видовження і ударну в'язкість).

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалити спосіб термічного оброблення труб з корозійностійких феритно-аустенітних сталей за рахунок їх додаткового гартування у воду, в результаті чого забезпечується гомогенізація хімічного складу, удосконалення структури і підвищення стійкості труб до пітингової корозії й корозійного розтріскування - при одночасному збереженні високого рівня механічних властивостей (міцності й пластичності).

Поставлена задача вирішується тим, що у способі термічного оброблення труб з корозійностійких феритно-аустенітних сталей, що включає гартування у воду при температурі 1030-1080 °С, відповідно до корисної моделі, труби перед гартуванням при температурі 1030-1080 °С піддають гартуванню у воду при температурі 1120-1200 °С з витримкою при нагріві  $\tau$ , хв., яка визначається з рівняння:

$$\tau = \kappa \times \delta,$$

де:  $\kappa$  - коефіцієнт, який дорівнює 2,5...5 хв.·мм<sup>-1</sup>,

$\delta$  - товщина стінки труби, що обробляється, мм.

Параметри корисної моделі, які заявляються, отримані експериментальним шляхом.

Відмінність запропонованого способу від найбільш близького з аналогів полягає в тому, що перед гартуванням у воду при температурі 1030-1080 °С труби піддають додатковому гартуванню при вказаних параметрах.

Технічним результатом застосування запропонованої корисної моделі є підвищення стійкості труб до пітингової корозії й корозійного розтріскування при одночасному збереженні високого рівня механічних властивостей (міцності й пластичності).

Це обумовлено тим, що запропоноване додаткове гартування у воду при температурі 1120-1200 °C сприяє:

- гомогенізації хімічного складу і структури сталі;
- розчиненню імовірних шкідливих надлишкових інтерметалідних фаз, наприклад  $\sigma$ -фази, в структурі сталі;
- помірному зростанню розміру феритних і аустенітних зерен і частковій коагуляції феритної й аустенітної фаз;
- зменшенню поверхні міжзеренних і міжфазних границь, на яких переважно можуть зароджуватися пітинги;
- утворенню в аустенітній, менш корозійностійкій фазі, підвищеної кількості спеціальних низькоенергетичних границь зерен типу  $\Sigma 3^n$ , які мають підвищену корозійну стійкість й підвищують корозійну стійкість аустенітної фази і сталі в цілому;
- проте відбувається збільшення об'єму феритної фази (до 65-70 %), а також імовірне утворення вторинної аустенітної фази ( $\gamma_2$ ), що негативно впливає на механічні (пластичність) й експлуатаційні властивості труб.

При цьому гартування труб у воду при температурі 1030-1080 °C сприяє відновленню оптимального балансу феритної й аустенітної фаз в структурі сталі (приблизно по 50 %-ів кожної) і перетворенню несприятливої вторинної аустенітної фази.

Це у комплексі сприяє підвищенню стійкості труб до пітингової корозії й корозійного розтріскування у хлоридвмісних середовищах при підвищених температурах - при одночасному збереженні високого рівня механічних властивостей (міцності й пластичності).

В остаточному підсумку це дозволяє підвищити якість, конкурентоспроможність і експлуатаційну надійність затребуваних на світовому ринку труб з корозійностійких феритно-аустенітних сталей, розширити області їх використання і дає можливість протягом тривалого часу без ремонтів і заміни експлуатувати труби в агресивних середовищах в хімічній, нафтохімічній, нафтогазовидобувній, целюлозно-паперовій, харчовій промисловостях, у атомній енергетиці, при виробництві мінеральних добрив, де труби з корозійностійких феритно-аустенітних сталей виходять із ладу через руйнування внаслідок пітингової корозії і корозійного розтріскування, а також сприяє поліпшенню умов праці та стану навколишнього природного середовища.

Спосіб, що пропонується, здійснюється наступним чином.

Труби з корозійностійких феритно-аустенітних сталей піддають гартуванню у воду при температурі 1120-1200°C, наприклад, у газовій прохідній роликівій печі, оснащених водяним спреєром, з витримкою при нагріві  $\tau$ , яка визначається з рівняння:  $\tau = \kappa \times \delta$ ,

де:

$\kappa$  - коефіцієнт, який дорівнює 2,5...5 хв.·мм<sup>-1</sup>,

$\delta$  - товщина стінки труби, що обробляється, мм,

а потім - гартуванню у воду при температурі 1030-1080 °C, наприклад, у газовій прохідній роликівій печі, оснащених водяним спреєром.

Конкретний приклад.

Гарячепресовані труби  $\varnothing 95 \times 8,0$  мм і холоднокатані труби  $\varnothing 20 \times 2,0$  мм з корозійностійкої феритно-аустенітної хромонікельмолібденової сталі 02 × 22H5AM3 (UNS S 31803) були піддані термічному обробленню у газовій прохідній роликівій печі, оснащених водяним спреєром для гартування у воду, за технологією, що відповідає тій, що заявляється, а також за технологією, з використанням режимів, що виходять за межі, що заявляються, і за технологією, що відповідає найбільш близькому з аналогів.

Режими додаткового гартування у воду гарячепресованих і холоднокатаних труб наведені в таблицях 1 і 2 відповідно. Після додаткового гартування у воду труби піддавали гартуванню у воду при температурі 1060 °C, з витримкою при нагріві для гарячепресованих труб 18 хвилин і для холоднокатаних труб 4 хвилини.

В таблицях 1 і 2 витримку при нагріві  $\tau$  у режимах, які відповідають тому, що заявляється, розраховували з рівняння:  $\tau = \kappa \times \delta$  хв.

При цьому для гарячепресованих труб з товщиною стінки 8 мм мінімальна витримка при нагріві труб за режимом, що заявляється, складала 20 хв. (при значенні коефіцієнта  $\kappa = 2,5$ ), а максимальна витримка при нагріві складала 40 хв. (при значенні коефіцієнта  $\kappa = 5$ ), табл. 1.

Відповідно для холоднокатаних труб з товщиною стінки 2 мм мінімальна витримка при нагріві труб складала 5 хв., а максимальна витримка при нагріві складала 10 хв., табл. 2.

Таблица 1

№ режиму	Режим додаткового гартування у воду гарячепресованих труб Ø 95×8,0 мм		Примітка
	Температура гартування, °C	Витримка при нагріві, хв.	
1	1050	15	режим, який виходить за межі, що заявляються
2	1120	20	режим, який відповідає тому, що заявляється
3	1150	30	режим, який відповідає тому, що заявляється
4	1200	40	режим, який відповідає тому, що заявляється
5	1250	45	режим, який виходить за межі, що заявляються
6	без додаткового гартування		режим найближчого аналога

Таблица 2

№ режиму	Режим додаткового гартування у воду холоднокатаних труб Ø 20×2,0 мм		Примітка
	Температура гартування, °C	Витримка при нагріві, хв.	
1	1050	4	режим, який виходить за межі, що заявляються
2	1120	5	режим, який відповідає тому, що заявляється
3	1150	8	режим, який відповідає тому, що заявляється
4	1200	10	режим, який відповідає тому, що заявляється
5	1250	15	режим, який виходить за межі, що заявляються
6	без додаткового гартування		режим найближчого аналога

Від отриманих труб були відібрані патрубки й виготовлені зразки для дослідження мікроструктури й проведення випробувань на стійкість до пітингової корозії, корозійного розтріскування і механічних властивостей.

Дослідження мікроструктури зразків труб проводили після електролітичного травлення подовжніх металографічних шліфів у 10 %-ому розчині щавлевої кислоти (для виявлення спеціальних низькоенергетичних границь зерен в аустенітній фазі) і у 38 %-ому розчині NaOH (кольорове травлення для розрізнення феритної й аустенітної складових і виявлення шкідливих інтерметалідних фаз і вторинного аустеніту).

Величину зерна в структурі труб оцінювали за ГОСТ 5639.

Випробування на стійкість до пітингової корозії проводили за методом А стандарту ASTM G-48 шляхом витримання зразків протягом 72 годин у 6 %-ому розчині заліза трихлориду гексагідрату ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) при температурах 40 °C (для холоднокатаних труб) і 45 °C (для гарячепресованих труб).

Випробування на стійкість до корозійного розтріскування під напругою проводили за стандартом ASTM G-36 у киплячому при температурі 155 °C 44 %-ому розчині магнію хлориду ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). Для випробування гарячепресованих труб використовували плоскі зразки з трикрапковим вигином і розтягуючими напруженнями 270 МПа, що дорівнювали 40 %-ів від нормованої границі текучості сталі (450 МПа), а для випробування холоднокатаних труб - кільцеві зразки, сплюснуті до паралельності сторін згідно з ГОСТ 9941 (ГОСТ 6032). Визначення механічних властивостей труб здійснювали випробуваннями на розтягування на зразках-сегментах за ГОСТ 10006 з визначенням границі міцності ( $\sigma_B$ ), границі текучості ( $\sigma_{0,2}$ ), відносного

видовження ( $\delta_5$ ), а також випробуваннями на ударну в'язкість на зразках Менаже з U-подібним надрізом з визначенням роботи руйнування ( $\alpha_K$ ).

Результати випробувань гарячепресованих труб представлені в таблиці 3, а холоднокатаних труб у таблиці 4.

5

Таблиця 3

№ режиму	Результати випробувань гарячепресованих труб Ø 95×8,0 мм зі сталі 02 × 22Н5АМ3 (UNS S 31803)						
	стійкість до ПК (швидкість корозії, г/см <sup>2</sup> )	стійкість до КР (час до розтріскування, години)	величина зерна, бал / наявність інтерметалідних або інших фаз / % фериту / % спеціальних низькоенергетичних границь зерен в аустеніті	механічні властивості			
				міцність		пластичність	
				$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	$\delta_5$ %	$\alpha_K$ Дж/см <sup>2</sup>
1	0,0075	180-190	8-10 / виявлено інтерметалідну фазу / 40-55 % / 40-43 %	720	610	36-38	70-80
2	0,00009	340-400	7-8 / інтерметалідні фази відсутні / 49-52 % / 63-69 %	710	600	38-40	90-100
3	0,000005	320=360	6,5-7 / інтерметалідні фази відсутні / 50-55/68-71 %	700	595	40-42	80-90
4	0,000008	310-340	6,5-7 / інтерметалідні фази відсутні / 50-56 / 70-73 %	695	590	40-42	70-80
5	0,00085	120-130	4,5-5 / виявлено вторинний аустеніт / 60-68 / 70-75 %	670	550	29-31	23-28
6	0,00055	230-240	9-10 / виявлено інтерметалідну фазу / 40-60 % / 50-55 %	730	620	35-37	60-70
Вимоги НД і споживачів	не більше 0,0001	не менше 300	величина зерна до 6 балу, відсутність інтерметалідних фаз і вторинного аустеніту	не менше			
				650	450	35	27

Таблиця 4

№ режиму	Результати випробувань холоднокатаних труб Ø 20×2,0 мм зі сталі 02 × 22Н5АМ3 (UNS S 31803)						
	стійкість до ПК (швидкість корозії, г/см <sup>2</sup> )	стійкість до КР (час до розтріскування, години)	величина зерна, бал / наявність інтерметалідних або інших фаз / % фериту / % спеціальних низькоенергетичних границь зерен в аустеніті	механічні властивості			
				міцність		пластичність	
				$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	$\delta_5$ %	$\alpha_K$ Дж/см <sup>2</sup>
1	0,0095	280-290	8-10 / виявлено інтерметалідну фазу / 40-55 % / 40-43 %	770	670	35-36	70-80
2	0,0001	400-430	7-8 / інтерметалідні фази відсутні / 49-52 % / 63-69 %	750	650	36-37	90-100
3	0,00008	380-400	6,5-7 / інтерметалідні фази відсутні / 50-55/68-71 %	740	615	37-38	80-90
4	0,00009	350-380	6,5-7 / інтерметалідні фази відсутні / 50-56 / 70-73 %	735	600	38-39	70-80
5	0,00095	200-280	5-6 / виявлено вторинний аустеніт / 60-68 / 70-75 %	700	560	27-31	25-30
6	0,00169	230-330	9-10 / виявлено інтерметалідну фазу / 40-60 % / 50-55 %	740	660	35-36	60-70
Вимоги НД і споживачів	не більше 0,0001	не менше 350	величина зерна до 6 балу, відсутність інтерметалідних фаз і вторинного аустеніту	не менше			
				650	450	35	27

Аналіз представлених даних показує, що використання технологічних варіантів 2-4 (спосіб, що заявляється), забезпечує:

- задовільну мікроструктуру гарячепресованих і холоднокатаних труб, без наявності шкідливих інтерметалідних фаз, з величиною феритних і аустенітних зерен, які відповідають балу 7-8 за ГОСТ 5639, зі співвідношенням феритної і аустенітної фаз приблизно 50 і 50 %, і кількістю спеціальних низькоенергетичних границь зерен в аустенітній фазі більше 70 %-ів;

- високу стійкість труб до пітингової корозії при випробуванні за методом А стандарту ASTM G-48 при температурах 40 °С (для холоднокатаних труб) і 45 °С (для гарячепресованих труб): швидкість корозії (питома втрата маси зразків) склала від 0,000005 до 0,00009 г/см, тобто не перевищувала допустиму величину 0,0001 г/см<sup>2</sup>;

- високу стійкість труб до корозійного розтріскування під напругою при випробуванні за стандартом ASTM G-36: час до розтріскування зразків гарячепресованих труб склав більше 300 годин, а сплюснутих зразків холоднокатаних труб - більше 350 годин, табл. 3 і 4.

При цьому зберігся високий рівень механічних властивостей (границя міцності, границя текучості, відносне видовження, ударна в'язкість), необхідний для труб, що працюють при підвищеному тиску та піддаються різним технологічним операціям, наприклад вигинам.

Технологічні варіанти з використанням термічного оброблення труб по режимах, що виходить за межі способу, що заявляється (варіанти 1 і 5), мають понижено стійкість до пітингової корозії й корозійного розтріскування, пов'язані з: недостатньо гомогенізованою, дрібнозернистою структурою сталі й наявністю в ній шкідливих інтерметалідних фаз (варіант 1), надмірним зростанням величини зерна, збільшенням об'єму феритної фази і утворенням у структурі сталі вторинного аустеніту (варіант 5), - які несприятливо впливають на стійкість до пітингової корозії й корозійного розтріскування.

Крім того, гарячепресовані і холоднокатані труби, термооброблені за варіантом 5, мають випадати по відносному видовженню 30-32 % замість не менше 35 %, і понижено ударну в'язкість, що суперечить вимогам нормативних документів на труби і несприятливо впливає на їхні експлуатаційні властивості.

Труби, термооброблені за варіантом, який відповідає найбільш близькому з аналогів (варіант 6), мають понижено стійкість до пітингової корозії внаслідок недостатньо гомогенізованої структури сталі та ймовірності присутності в ній шкідливих інтерметалідних фаз, великої поверхні міжзеренних і міжфазних границь, на яких переважно можуть зароджуватися пітинги, що не забезпечує гарантовану стійкість труб до пітингової корозії при здавально-приймальних випробуваннях і в умовах експлуатації в хлоридвмісних середовищах при підвищених температурах й обмежує їхнє використання.

Таким чином, використання запропонованого способу термічного оброблення труб з корозійностійких феритно-аустенітних сталей забезпечує підвищення стійкості до пітингової корозії й корозійного розтріскування у сполученні з високими механічними, технологічними та експлуатаційними властивостями.

В кінцевому результаті це приведе до виключення або значного зниження браку з пітингової корозії й корозійного розтріскування дорогих труб з корозійностійких феритно-аустенітних хромонікелевих і хромонікельмолібденових (дуплексних і супердуплексних) сталей при здавальних випробуваннях, підвищить корозійну стійкість і надійність труб в умовах експлуатації та дасть можливість протягом тривалого часу експлуатувати їх без ремонтів і заміни у високоагресивних, у тому числі хлоридвмісних, середовищах при підвищених температурах і тиску в хімічній, нафтохімічній, целюлозно-паперовій, харчовій промисловостях, у атомній енергетиці, при виробництві мінеральних добрив тощо, а також буде сприяти поліпшенню умов праці та підвищенню екологічної безпеки.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб термічного оброблення труб з корозійностійких феритно-аустенітних сталей шляхом їх гартування у воду при температурі 1030-1080 °С, який **відрізняється** тим, що труби перед гартуванням при температурі 1030-1080 °С піддають додатковому гартуванню у воду при температурі 1120-1200 °С з витримкою при нагріві  $\tau$ , яка визначається з рівняння:

$$\tau = \kappa \times \delta,$$

де:

$\kappa$  - коефіцієнт, який дорівнює 2,5...5 хв.·мм<sup>-1</sup>,

$\delta$  - товщина стінки труби, що обробляється, мм.

---

Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601