



УКРАЇНА

(19) UA (11) 36004 (13) U

(51) МПК (2006)

C21D 9/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРУБ З АУСТЕНИТНИХ КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ

1

2

(21) u200806110

(22) 12.05.2008

(24) 10.10.2008

(46) 10.10.2008, Бюл.№ 19, 2008 р.

(72) ВАХРУШЕВА ВІРА СЕРГІЇВНА, UA, ДЕРГАЧ
ТЕТЯНА ОЛЕКСАНДРІВНА, UA, СУХОМЛИН ГЕО-
РГІЙ ДМИТРОВИЧ, UA, ОПРИШКО ЛЮДМИЛА
ВАСИЛІВНА, UA, СЕВЕРІНА ЛЮБОВ СЕМЕНІВ-
НА, UA, ТЕРЕЩЕНКО АНДРІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ,
UA, ТЕНЕТА МИХАЙЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ, UA,
ЧЕКМАРЬОВ В'ЯЧЕСЛАВ ВІТАЛІЙОВИЧ, UA(73) ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО "НАУКОВО-
ДОСЛІДНИЙ ТА КОНСТРУКТОРСЬКО-
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ТРУБНОЇ ПРОМИС-
ЛОВОСТІ ІМ. Я.Ю. ОСАДИ", UA, ЗАКРИТЕ АКЦІ-ОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "СЕНТРАВІС ПРОДАКШН
ЮКРЕЙН", UA(57) Спосіб виготовлення труб з аустенітних коро-
зійностійких сталей і сплавів, що включає багато-
разову холодну або теплу прокатку з термічними
обробками на проміжних і готовому розмірах і на-
ступне виправлення, який відрізняється тим, що
після виправлення труби готового розміру підда-
ють додатковій термічній обробці при температурі
 $t=850-1120^{\circ}\text{C}$ і витримці t , що визначається з рів-
няння:

$$t=(1130-t)\times K$$

$$\text{де } K=(1\div 1,2)\times 10^{-1}, \text{ хв. } ^{\circ}\text{C}.$$

Корисна модель відноситься до трубного ви-
робництва й може бути використана при виготов-
ленні з аустенітних корозійностійких сталей і спла-
вів, зокрема, хромонікелевих і
хромонікельмолібденових, стабілізованих і неста-
білізованих, - холоднокатаних або теплокатаних
труб з високою стійкістю до міккристалітної корозії
(МКК) у слабо- і сильноокислювальних корозійно-
агресивних середовищах і підвищеної жароміцнос-
ті й жаростійкості.

Труби з аустенітних корозійностійких сталей і
сплавів можуть мати понижену стійкість до міккри-
сталітної корозії в агресивних середовищах, на-
приклад, при експлуатації при підвищених темпе-
ратурах і тиску у випарному, теплообмінному або
іншому устаткуванні - у хімічній, нафтохімічній,
харчовій промисловості, теплової і атомній енерге-
тиці й ін., а також понижену жароміцність і жаро-
стійкість при експлуатації в теплоенергетичних
установках при підвищених температурах й тиску.
Це призводить до швидких корозійних ушкоджень
труб у процесі експлуатації, передчасного виходу з
ладу устаткування, ремонтним простоям, необхід-
ності частої заміни коштовних труб, а також до
погіршення умов праці й навколишнього середо-
вища. Тому основними вимогами, які пред'явля-
ються до труб із зазначених сталей і сплавів, є
забезпечення високої стійкості до міккристалітної

корозії, а в ряді випадків, - високої жароміцності й
жаростійкості, при достатній міцності й пластично-
сті, необхідних для труб, що працюють в агресив-
них середовищах при підвищених температурах і
тиску.

Відомий спосіб виготовлення труб з аустеніт-
них корозійностійких сталей і сплавів, що включає
гарячу деформацію (прошивання або пресування)
суцільних трубних заготовок, наступну багаторазо-
ву холодну або теплу прокатку на проміжні й гото-
вий розміри з термічними обробками після кожного
проходу деформації при температурах 1050-
1080°C. [Сталь, 1983. №8, С.20-22].

Такі труби можуть мати понижену стійкість до
міккристалітної корозії внаслідок можливого насичення
вуглецем їхньої внутрішньої поверхні при
термічній обробці через залишки вкатуного у мік-
рошорсткості мастила, що містить вуглець, що
застосовується при холодній і теплій прокатці, а
також понижену жароміцність і жаростійкість.

Відомий також спосіб виготовлення труб з аус-
тенітних корозійностійких сталей для теплообмін-
ного устаткування атомних енергетичних устано-
вок, що включає багаторазову холодну прокатку,
термічну обробку труб на проміжних і готових роз-
мірах при температурі 800-1050°C і виправлення
труб по регламентованих режимах, з деформацією
не більше 10%. [Вопросы атомной науки и техни-

(13) U

(11) 36004

(19) UA

ки. Сер. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. - 2008. №2, С.73-77].

Вказана технологія не виключає поверхневого насичення труб вуглецем при термічній обробці через залишки мастила, що містять вуглець, тому отримані по ній труби можуть мати понижену стійкість до міккристалітної корозії. Крім того, зазначені труби мають дрібнозернисту структуру й тому понижену жароміцність і жаростійкість.

Найбільш близьким аналогом до того, що заявляється, є спосіб виготовлення труб з аустенітних корозійностійких сталей і сплавів, що включає багаторазову холодну або теплу прокатку з високотемпературними термічними обробками на проміжних і готовому розмірах і наступне виправлення. [ООО «Черметинформация». Приложение 2 к Бюллетеню «Черная металлургия». - 2003. С.2-29]. Зазначена технологія забезпечує задовільний рівень механічних властивостей, однак має місце поверхневе насичення труб вуглецем при високотемпературній термічній обробці через залишки мастила, що не виключає появи внаслідок цього схильності труб до МКК. Труби, виготовлені за зазначеною технологією, можуть мати понижену стійкість до МКК також при наявності в сталі поверхнево активних домішкових елементів, не регламентованих технічними умовами, наприклад, бору, миш'яку й ін. Крім того, високотемпературна термічна обробка труб зі сталей і сплавів, стабілізованих титаном, наприклад, 08X18H10T, 12X18H10T, 12X18H12T, 06XH28MDT й ін., може привести до розчинення карбідів титану, вивільнення реакційноспроможного вуглецю й до утворення при наступному охолодженні труб на границях зерен сталі або сплаву карбідів хрому й до збідніння хромом приграничних ділянок твердого розчину. Наслідком цього є поява схильності труб до МКК і зниження їхньої жароміцності й жаростійкості, особливо при експлуатації при температурах 600-650°C, при яких виділення карбідів хрому на границях зерен і збідніння хромом приграничних ділянок твердого розчину відбувається найбільше інтенсивно. Тому отримані за зазначеною технологією труби не мають гарантовану стійкість до міккристалітної корозії, а також жароміцність і жаростійкість.

В основі даної корисної моделі лежить вирішення задачі по удосконаленню способу виготовлення труб з аустенітних корозійностійких сталей і сплавів шляхом зміни режиму їхньої термічної обробки, у результаті чого забезпечується підвищення стійкості труб до міккристалітної корозії, а також підвищення жароміцності й жаростійкості труб - при одночасному збереженні високого рівня механічних властивостей.

Поставлена задача вирішена тим, що в способі виготовлення труб з аустенітних корозійностійких сталей і сплавів, що включає багаторазову холодну або теплу прокатку, термічну обробку на проміжних і готовому розмірах і наступне виправлення, відповідно до корисної моделі, після виправлення труби готового розміру піддають додатковій термічній обробці при температурі $t=850-1120^{\circ}\text{C}$ і витримці t , що визначається з рівняння:

$$\tau=(1130-t)\times K,$$

$$\text{де } K=(1\div 1,2)\times 10^{-1}, \text{ хв./}^{\circ}\text{C}.$$

Параметри корисної моделі, які заявляються, отримані експериментальним шляхом.

Відмінність запропонованого способу від найбільш близького з аналогів полягає в тому, що після виправлення труб готового розміру їх піддають додатковій термічній обробці при вказаних параметрах.

Технічним результатом застосування запропонованої корисної моделі є підвищення стійкості труб до міккристалітної корозії, підвищення їхньої жароміцності й жаростійкості при збереженні високого рівня механічних властивостей.

Це обумовлено тим, що запропонована додаткова термічна обробка труб готового розміру, здійснювана після їхнього виправлення, сприяє видаленню дифузійним шляхом (цей процес ініціюється завдяки підвищеній щільності дислокацій і ліній ковзання в структурі металу труб, підданих помірній деформації при виправленні) із границь зерен поверхово активних елементів, наприклад, вуглецю, бору, миш'яку, фосфору, кремнію й ін., що сприяють утворенню надлишкових фаз по границях зерен, що знижує корозійну стійкість границь, видаленню з поверхневих шарів металу труб шляхом окислювання, а також дифузійним шляхом, надлишкового вуглецю, насичення яким може відбуватися при термічній обробці труб через залишки вкатуваного у мікросорсткості поверхні мастила, що містить вуглець, а також видалення деяких інших елементів, що несприятливо впливають на стійкість труб з аустенітних корозійностійких сталей і сплавів до МКК. Крім того, додаткова термічна обробка труб за запропонованим режимом сприяє стабілізації сталі шляхом зв'язування надлишкового вуглецю, що може звільнитися при розчиненні карбідів титану, наприклад, при високотемпературній термічній обробці, і перебуває у твердому розчині, - у міцні карбіди титану, і створенню відносно однорідної мікроструктури з рівномірно розташованими в тілі зерна, а не на його границях, дисперсними карбідами титану. Це сприяє підвищенню стійкості до міккристалітної корозії, як при здавальних випробуваннях труб, так і в умовах експлуатації, і підвищенню жаростійкості й жароміцності труб при випробуваннях на тривалу міцність і в умовах експлуатації при підвищених температурах, не погіршуючи їхні механічні властивості.

В остаточному підсумку це дозволяє збільшити випуск якісної товарної продукції й підвищити рентабельність виробництва труб з корозійностійких сталей і сплавів на трубних заводах за рахунок виключення відбраковування коштовних труб при здавальних випробуваннях, і дає можливість протягом тривалого часу без ремонтів і заміни труб експлуатувати устаткування в агресивних середовищах хімічної, нафтохімічної, харчовий промисловості, у теплової і атомній енергетиці, де труби виходять із ладу через руйнування внаслідок міккристалітної і високотемпературної корозії, а також сприяє поліпшенню умов праці й навколишнього середовища.

Спосіб, що пропонується, здійснюється наступним чином.

Заготовки із аустенітних хромонікелевих або хромонікельмолібденових корозійностійких сталей чи сплавів піддають послідовній холодній або теплій прокатці, наприклад, на станах типу ХПТ, термічним обробкам на проміжних і готовому розмірах, наприклад, у прохідних газових або електричних печах, наступному виправленню, а після виправлення на готовому розмірі труби піддають додатковій термічній обробці при температурі $t=850-1120^{\circ}\text{C}$ і витримці τ , що визначалася з рівняння:

$$\tau = (1130 - t) \times K,$$

$$\text{де } K = (1 \div 1,2) \times 10^{-1}, \text{ хв./}^{\circ}\text{C}.$$

Конкретний приклад.

Заготовки $\varnothing 89 \times 9,5 \text{ мм}$ з аустенітної хромонікелевої сталі 12Х18Н10Т і хромонікельмолібденового сплаву 06ХН28МДТ були піддані 2-х прохідній теплій деформації на станах теплої прокатки ХПТ-55 і ХПТ-32, з термічною обробкою на проміжному розмірі при температурі 1050°C і на готовому розмірі при 1200°C і при 1080°C для труб зі сталі 12Х18Н10Т і сплаву 06ХН28МДТ, відповідно, виправленню на правильному стані фірми "Bronx" з деформацією до 10%, а після виправлення піддавали додатковій термічній обробці при температурі $t=850-1120^{\circ}\text{C}$ і витримці τ , що визначалася з рівняння:

$$\tau = (1130 - t) \times K,$$

$$\text{де } K = (1 \div 1,2) \times 10^{-1}, \text{ хв./}^{\circ}\text{C}.$$

$$\text{наприклад, для } t=850^{\circ}\text{C}, \quad \tau = (1130 - 850) \times (1 \div 1,2) \times 10^{-1} = 28-33,6 \text{ хв.}$$

Були виготовлені теплокатані труби розміром $\varnothing 36 \times 4 \text{ мм}$ 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.

Теплу прокатку труб $\varnothing 36 \times 4 \text{ мм}$ здійснювали за маршрутом:

01. $\varnothing 89 \times 9,5 \rightarrow \varnothing 57 \times 6,4$ (стан ХПТ 55), проміжний розмір, термічна обробка при температурі 1050°C ;

02. $\varnothing 57 \times 6,4 \rightarrow \varnothing 36 \times 4$ (стан ХПТ-32), готовий розмір, термічна обробка, виправлення труб і додаткова термічна обробка по режимах, що відповідають тим, що заявляються, і по режимах, що виходить за межі, що заявляються.

По технології, що відповідає найближчому аналогу, на готовому розмірі труби після виправлення не піддавали додатковій термічній обробці.

Зазначені технологічні режими для труб зі сталі 12Х18Н10Т і сплаву 06ХН28МДТ наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

№ ре- жима	Режим додаткової термічної обробки труб після виправлення		Примітка
	температура, $^{\circ}\text{C}$	витримка, хв. *	
1	800	20-25	режим, який виходить за межі, що заявляються
2	850	28-33,6	режим, який відповідає тому, що заявляється
3	1050	8-9,6	режим, який відповідає тому, що заявляється
4	1120	1-1,2	режим, який відповідає тому, що заявляється
5	1150	5-10	режим, який виходить за межі, що заявляються
6	-	-	режим найближчого аналога

Примітка: * Варіювання часу витримки визначається коефіцієнтом K

Від отриманих труб були відібрані патрубки й виготовлені зразки для дослідження мікроструктури й проведення випробувань на стійкість до міжкристалітної корозії (МКК), випробувань жароміцності, жаростійкості і механічних властивостей.

Випробування на стійкість до МКК у слабкоокислювальних середовищах проводили за методами АМУ, ГОСТ 6032 і В стандарту ISO 5632-2, які полягають у кип'ятінні зразків після провокуючого нагріву (при 650°C з витримкою 1 година для труб зі сталі 12Х18Н10Т і при 700°C з витримкою 20 хвилин для труб зі сплаву 06ХН28МДТ) у сірчано-нікислом розчині сульфату міді з наступним Z-подібним вигином і оцінкою наявності тріщин на поверхнях вигину. Крім того, проводили випробування труб зі сплаву 06ХН28МДТ на стійкість до МКК у середовищі середньої окислювальної здатності, за методом ВУ, ГОСТ 6032, що полягає в кип'ятінні зразків у сірчано-нікислом розчині сірча-

нокислого окисного заліза з наступною оцінкою схильності до МКК аналогічно методу АМУ.

Випробування зразків труб зі сталі 12Х18Н10Т на тривалу міцність проводили при температурах 600 і 650°C при напругах 108 Н/мм^2 і 69 Н/мм^2 відповідно, до руйнування зразків.

Випробування на жаростійкість проводили протягом 100 годин у повітряному середовищі при температурі 800°C .

Дослідження мікроструктури зразків труб проводили після електролітичного травлення металографічних шліфів у 10%-ному розчині щавлевої кислоти.

Випробування механічних властивостей труб на розтяг проводили на зразках-сегментах за ГОСТ 10006-81 з визначенням границі міцності (σ_B), границі текучості ($\sigma_{0,2}$) і відносного видовження (δ_5).

Результати корозійних, жароміцних, жаростійких випробувань, випробувань механічних властивостей і дослідження мікроструктури металу труб

зі сталі 12X18H10T і сплаву 06ХН28МДТ представлені в таблицях 2 і 3.

Таблиця 2

№ п/п	Результати випробувань і оцінки властивостей труб зі сталі 12X18H10T								
	стійкість до МКК по методу АМУ	час до руйнування при випробуванні на тривалу. міцність, год.		прибавка ваги зразків при 800°С, г/м ² год.	мікроструктура / різнозернистість, бал	механічні властивості			
		стан Z-вигину зразка	600°С			650°С	σ _{0,2}	σ _В	δ ₅
							Н/мм ²		%
1	тріщини	93000	87000	0,031	насичення вуглецем 50мкм / 2-3	250-270	560-570	40-45	
2	тріщини відсутні	136000	122000	0,021	насичення вуглецем відсутнє / 2-3	240-270	550-565	45-48	
3	тріщини відсутні	155000	139000	0,016	насичення вуглецем відсутнє / 2-3	240-260	540-560	45-50	
4	тріщини відсутні	141000	132000	0,024	насичення вуглецем відсутнє / 2-3	230-240	535-540	50-55	
5	тріщини	89000	84000	0,041	карбіди хрому на границях зерен / 3-5	210-220	510-530	50-58	
6	тріщини	104000	91000	0,035	карбіди хрому на границях зерен, насичення вуглецем 70мкм / 3-4	220-250	530-540	40-45	
Вимоги ГОСТ ТУ	відсутність тріщин	не менше 100000		-	відсутність насичення вуглецем / не більше 4	не менше			
						230	530	40	

Таблиця 3

№ п/п	Результати випробувань і оцінки властивостей труб зі сплаву 06ХН28МДТ					
	стійкість до МКК по методу АМУ	стійкість до МКК по методу ВУ	мікроструктура / різнозернистість, бал	механічні властивості		
				σ _{0,2}	σ _B	δ ₅
				Н/мм ²		%
1	тріщини	тріщини	насичення вуглецем 40мкм / 2	240-260	560-590	35-38
2	тріщини відсутні	тріщини відсутні	насичення вуглецем відсутнє / 2	240-260	570-590	40-45
3	тріщини відсутні	тріщини відсутні	насичення вуглецем відсутнє / 2	230-250	570-580	40-52
4	тріщини відсутні	тріщини відсутні	насичення вуглецем відсутнє / 2-3	230-240	560-570	50-55
5	тріщини	тріщини	карбіди хрому на границях зерен / 4	200-210	530-540	45-55
6	тріщини	тріщини	насичення вуглецем 70мкм / 2-3	230-260	560-580	35-45
Вимоги ГОСТ, ТУ	відсутність тріщин	відсутність тріщин	відсутність насичення вуглецем / не більше 3	не менше		
				220	550	35

Аналіз представлених даних показує, що використання технологічних варіантів 2-4 (спосіб, що заявляється), забезпечують високу стійкість до міжкристалітної корозії при випробуванні в слабко-окислювальних середовищах (за методами АМУ, ГОСТ 6032 і В ISO 3652-2), табл. 2, і при випробуванні в середовищі середньої окислювальної здатності (за методом ВУ, ГОСТ 6032), табл. 3. Між-

кристалітні тріщини на поверхнях Z-подібного вигину зразків після випробувань були відсутні.

При випробуваннях на тривалу міцність при температурі 600°C і 650°C час до руйнування зразків труб зі сталі 12X18H10T становив 122000-139000 годин і 136000-155000 годин відповідно, тобто в 1,2-1,55 разів перевищив необхідну згідно ТУ величину не менше 100000 годин (табл. 3).

Різномізернистість мікроструктури труб склала не більше 3-х балів, що також відповідає вимогам ТУ (табл. 2, 3).

Прибавка ваги зразків при випробуваннях на жаростійкість при температурі 800°C протягом 100 годин у повітряному середовищі склала 0,016-0,024г/см² год., що свідчить про високу жаростійкість труб (табл. 2).

Поверхнєве насичення вуглецем і виділення карбідів хрому на границях зерен труб зі сталі і сплаву були відсутні, різномізернистість металу труб не перевищила 3-х балів, що позитивно позначається на стійкості до МКК, жароміцності й жаростійкості труб в умовах експлуатації (табл. 2, 3).

При цьому зберігається високий рівень механічних властивостей (границя міцності, границя текучості, відносне видовження), необхідний для труб, що працюють при підвищеному тиску.

Технологічні варіанти виготовлення труб з використанням додаткової термічної обробки труб готового розміру по режимах, що виходить за межі технології, що заявляється (варіанти 1 і 5), мають випадати по стійкості до міжкристалітної корозії, пов'язані: зі збереженням насиченого вуглецем шару, коли додаткова термічна обробка здійснювалася при температурах і часі витримки, що виходять за нижню межу параметрів, що заявляються (варіанти 1), оскільки вона не забезпечує протікання у повній мірі дифузійних процесів, необхідних для усунення поверхневого насичення труб вуглецем і вирівнювання концентрації вуглецю по товщині стінки труби; з виділенням карбідів хрому по границях зерен і збідненням хромом приграничних ділянок твердого розчину, оскільки додаткова термічна обробка при температурах і часі витримки, що виходять за верхню межу параметрів, що заявляються (варіанти 5), не забезпечує зв'язування вуглецю, що вивільнився при високо-температурній термічній обробці, у карбіди титану, а також сприяє критичному росту зерна й внаслідок цього, підвищеній різномізернистості структури, до 5 балів, у трубах зі сталі й сплаву, що в комплексі приводить до пониженої стійкості до МКК, пониженої жароміцності й жаростійкості труб.

Крім того, труби, виготовлені по варіантах 5, мають випадати по границі текучості (210-220Н/мм² замість не менш 230Н/мм² для труб зі сталі 12Х18Н10Т і 200-210Н/мм² замість не менш 220Н/мм² для труб зі сплаву 06ХН28МДТ) і по границі міцності (510-530Н/мм² замість не менш 530 Н/мм² для труб зі сталі 12Х18Н10Т і 530-540Н/мм² замість не менш 550Н/мм² для труб зі сплаву 06ХН28МДТ). Труби зі сталі 12Х18Н10Т, виготовлені по позамежним варіантам 1 і 5, мають також випадати по тривалій міцності (витримали випробування протягом 84000-93000 годин замість не менше 100000 годин), що суперечить вимогам ТУ і несприятливо впливає на експлуатаційні властивості труб.

Труби, виготовлені по технологічному варіанту, який відповідає найбільш близькому з аналогів (варіант 6), мають випадати по стійкості до міжкристалітної корозії внаслідок насичення внутрішньої поверхні труб вуглецем, а також внаслідок утворення по границях зерен карбідів хрому й збіднення хромом приграничних зон, що не забезпечує гарантовану стійкість труб до МКК в умовах експлуатації й обмежує їхнє використання.

Таким чином, використання запропонованого способу виготовлення труб з аустенітних корозійностійких сталей і сплавів забезпечує підвищення стійкості до міжкристалітної корозії у високоагресивних середовищах, у тому числі при підвищених температурах і тиску, і підвищення жароміцності й жаростійкості труб, у сполученні з високими механічними властивостями.

В кінцевому результаті це приведе до виключення або значного зниження браку по міжкристалітній корозії кошовних труб з аустенітних хромонікелевих і хромонікельмолібденових сталей і сплавів при здавальних випробуваннях, підвищить корозійну стійкість, жароміцність і жаростійкість труб в умовах експлуатації й дає можливість протягом тривалого часу експлуатувати їх без ремонтів і заміни у високоагресивних середовищах при підвищених температурах і тиску в хімічній, нафтохімічній, харчовій промисловості, у тепловій і атомній енергетиці, а також буде сприяти поліпшенню умов праці і навколишнього середовища.