



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **101589** (13) **C2**  
(51) МПК (2013.01)  
*F16L 58/04* (2006.01)  
*F16L 58/10* (2006.01)  
*B29K 63/00* (2006.01)  
*C21D 7/00*

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

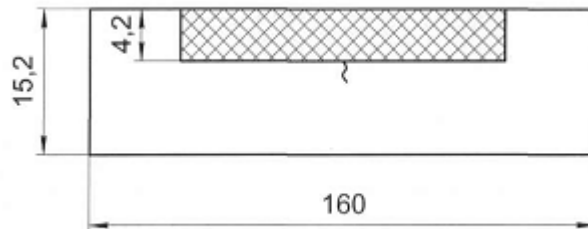
**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**

<p>(21) Номер заявки: <b>а 2012 05696</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>10.05.2012</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>10.04.2013</b></p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: <b>25.10.2012, Бюл.№ 20</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.04.2013, Бюл.№ 7</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Венгринюк Тетяна Петрівна (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ,</b> вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: CN 86207500 U, 13.04.1988 RU 4356 U1, 16.06.1997 SU 819193 A1, 07.04.1981 SU 1125266 A1, 23.11.1984 SU 456003 A1, 05.01.1975</p>
---	--

**(54) СПОСІБ ГАЛЬМУВАННЯ РОСТУ КОРОТКИХ ВТОМНИХ ТРІЩИН ПОВЕРХНІ ТРУБОПРОВОДІВ**

**(57) Реферат:**

Спосіб гальмування росту коротких втомних тріщин поверхні трубопроводів включає створення напружень в околі вершини тріщини, заповнення тріщини речовиною. Напруження створюють заповненням порожнини тріщини епоксидною смолою під тиском, з можливістю не виводити трубопровід з експлуатації, після чого на трубу наносять скловолокно, а зверху накладають поліуретанову композицію.



Фиг. 1

UA 101589 C2



Винахід належить до нафтогазової галузі, а саме до зміцнення та захисту сталевих нафтогазопроводів, зокрема із труб сортаменту 17Г1С, на стадії їх виготовлення спорудження і ремонту.

5 Відомий спосіб затримки росту втомних тріщин у листовому матеріалі при якому на шляху росту тріщини перед вершиною здійснюють локальну пластичну деформацію у напрямку, перпендикулярному площині листа на глибину 0,09-0,15 товщини листа, після чого засвердлюють тріщину в її вершині (А.С. СРСР №456003 КЛ С2/Д7/02. Бюл.№1, 1975р.).

10 Цей спосіб має такий недолік, що за його допомогою зміцнюється тільки вершина тріщини, в той час, як інтенсивність напружень у вершині тріщини залежить від усієї довжини тріщини і напружень по всій зоні розташування тріщини.

15 Відомий спосіб гальмування росту втомних тріщин, що включає локальну пластичну деформацію зони розташування тріщини у напрямку, перпендикулярному площині елемента, при якому локальну пластичну деформацію виконують відтисками пуансона, які розташовують у два ряди по обидві сторони тріщини і паралельній. Таке розташування відтисків підвищує ефективність затримки росту тріщини, оскільки стискаючі напруги, які створюються пластичною деформацією, охоплюють всю зону тріщини, а не тільки її вершину (А.С СРСР № 819193, Кл. С 21Д 7/02 Бюл. 13, 07.04.81).

20 Проте, цей спосіб, як і попередній, неефективні у випадку гальмування малих втомних тріщин, а також для виробів із крихких матеріалів, коли нанесення відтисків призводять до утворення вторинних тріщин від них.

Крім того, нанесення відтисків у деяких випадках неможливе на вироби складної форми та із складною траєкторією розповсюдження тріщини, яку неможливо передбачити, що виключає попереднє нанесення відтисків у певному місці, ще до появи там тріщини.

25 Найбільш близьким за функціональним призначенням до запропонованого відомий спосіб обробки виробів (А.С. СРСР №1125266, Бюл. №43.1984р.).

30 Спосіб спрямований на обробку виробів великих товщин і складної форми, виготовлених із крихких матеріалів для підвищення їх циклічної тріщиностійкості. Згідно зі способом обробки виробів, що включає створення напружень у берегах тріщини, для чого тріщину заповнюють сипучою дрібнодисперсною твердою речовиною. Потрапляючи у тріщину, речовина створює тиск на береги тріщини і перешкоджає змиканню берегів протягом півцикла навантаження, завдяки чому зменшується амплітуда навантаження матеріалу у вершині, що підвищує тріщиностійкість виробу.

Використання даного способу підвищує довговічність виробів, що знаходиться під дією циклічного навантаження і мають тріщиноподібні дефекти.

35 Проте специфіка дій і навантажень на нафтогазопроводи, і в зв'язку з цим викликані ними дефекти, вимагають розробки більш ефективних способів гальмування розвитку коротких втомних тріщин.

40 Навантаження на нафтогазопроводи за ознакою породжуваних ними накопичень пошкоджень і деградації фізико-механічних властивостей конструкційних сталей можна виділити у наступні групи:

- квазістатичні, що враховують зміну міцнісних характеристик;
- змінні і циклічні навантаження, пов'язані із накопиченням втомних пошкоджень, зародженням і розвитком тріщини;
- динамічні (ударні) дії є як повторно змінні навантаження (удари трубопроводу під дією вітру, води тощо), так і однотривалі, що викликають пошкодження труб при транспортуванні, укладанні в траншеї або падінні на них важких предметів;
- корозійно-механічні навантаження виділяють в окрему групу, що обумовлено специфічним механізмом накопичення пошкоджень і деградацією міцнісних та деформаційних властивостей конструкційних сталей.

50 В окрему групу дій на трубопровід необхідно також віднести механізм впливу зовнішнього і внутрішнього середовища на фізико-механічні властивості трубної сталі. Протягом довготривалої експлуатації трубопроводів під впливом водню і агресивних середовищ прослідковується зниження міцнісних характеристик, через що збільшується деформаційність сталей, розвиток корозійного розтріскування під напругою (стрес-корозія) із утворенням розгалужених тріщин, орієнтованих або в поздовжньому напрямку (під дією надмірного внутрішнього тиску), або в поперечному (в зоні напружень на вигнутих або провислих ділянках).

55 Високочастотна зміна навантаження від внутрішнього тиску у трубі, особливо за компресорними станціями, періодичні зміни режимів експлуатації, аж до зупинок у транспортуванні нафтогазопродуктів, стає причиною виникнення втомних тріщин.

За походженням дефекти і пошкодження трубопроводів поділяються на корозійні та тріщиноподібні. Особливістю корозійних пошкоджень є їх прогнозований розвиток у часі в залежності від зовнішніх умов і типу ізоляційного покриття. Тріщиноподібні дефекти (стрес-корозія, поодинокі і короткі тріщини) є найбільш загрозливими, які під дією тиску можуть переростати у суцільну тріщину на сотні метрів.

Існує проблема коротких втомних тріщин, які не описуються загальними закономірностями, властивими довгим тріщинам. Важливість врахування ефекту коротких тріщин посилюється тією обставиною, що вони за однакових умов циклічного навантаження (асиметрія циклу, частота) ростуть швидше, а поріг циклічної тріщиностійкості менший, ніж для довгих тріщин. Циклічне навантаження не тільки зумовлює окремий механізм руйнування втомної тріщини, але й підсилює розвиток корозійних та тріщиноподібних дефектів трубної сталі. Адже відомо, що тріщини корозійного розтріскування тупіші за втомні, часто розгалужені, що утруднює їх ріст через зниження концентрації напружень. В той же час циклічне навантаження, навіть якщо воно нетривале, буде загострювати такі тріщини і сприяти їх росту.

Вважається, що головною причиною феномену коротких втомних тріщин є так зване "закриття тріщини" (ЗТ). Яке полягає у передчасному (ще за розтягувальних напружень) контакті берегів тріщини позаду її вершини, через що в частині циклу навантаження відсутня циклічна деформація матеріалу поблизу вершини і тому вона вважається "неефективною". При розгляді механічної рушійної сили росту тріщини береться до уваги вже не коефіцієнт інтенсивності напружень ( $K_{IH}$ ), а ефективний розмах  $K_{IH} \Delta K_{eff}$ .

Оскільки ефект коротких тріщин зменшує поріг циклічної тріщиностійкості трубних сталей, необхідно розробити способи підвищення опору росту коротких втомних тріщин.

Задача, що ставилась автором при створенні даного винаходу, - розробити спосіб гальмування розвитку коротких втомних тріщин поверхні трубопроводів шляхом штучно створюваного ефекту закриття тріщини, який би не тільки механічно зміцнював поверхню труби, але й гальмував подальший розвиток корозійних і тріщиноподібних дефектів і пошкоджень.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що у способі гальмування росту коротких втомних тріщин поверхні трубопроводів, що включає створення напружень в околі вершини тріщини і заповнення тріщини речовиною, згідно з винаходом, напруження створюють заповненням порожнини тріщини епоксидною смолою під тиском, без виведення трубопроводу з експлуатації, після чого на трубу наносять скловолокно, а зверху накладають поліуретанову композицію.

Технологічно виправдано нанесення покриття під тиском, тобто без виведення трубопроводу з експлуатації. Наявні в трубі поверхневі тріщини будуть через навантаження від внутрішнього тиску розкриватися і епоксидна смола, як перший шар покриття, буде частково заповнювати порожнину тріщини, а після затвердіння - виконувати роль клина. Це за циклічного навантаження зменшує циклічну деформацію матеріалу в околі вершини тріщини і підвищує опір втомної тріщини її зростанню. Створюється штучно ефект ЗТ, який полягає у зменшенні ефективного розмаху  $K_{IH} \Delta K_{eff}$  заповненням порожнини тріщини епоксидною смолою, яка перешкоджає змиканню її берегів впродовж півцикла розвантаження. При цьому зменшується амплітуда деформації матеріалу в зоні перед руйнуванням, що гальмує тріщину.

Додатково очікується зміцнювальний та гальмівний ефект від нанесеного покриття з двох причин: механічної накладки, що складається із скловолокна, і поліуретанової композиції (покриття), яка має високу адгезію до поверхні металу, і клинового ефекту отвердівшої епоксидної смоли у порожнині тріщини.

Спосіб здійснюють наступним чином.

Оскільки розповсюдження короткої втомної тріщини відбувається безпосередньо після її зародження, виявити короткі тріщини досить важко. З точки зору виявлено, до коротких тріщин відносять весь діапазон тріщин, які неможливо зафіксувати методами дефектоскопії, тому спосіб здійснювали і досліджували у лабораторних умовах.

На балкових зразках шириною 9 мм, висотою 15, мм, довжиною 160 мм з боковим концентратором напружень перед нанесенням покриття вирощували короткі тріщини. Після цього зразок навантажували до максимального рівня у циклі навантажень і, витримуючи його під тривалим статичним навантаженням, наносили на робочу поверхню частину зразка розроблене автором покриття товщиною 4,2 мм так, що загальна висота зразка з покриттям становила 15,2 мм. На фіг. 1 наведений зразок з покриттям і короткою тріщиною під ним для випробовувань на втомну міцність.

Компоненти покриття наносять на зразок у такій послідовності. Спочатку накладають епоксидну смола, потім наносять скловолокно, а зверху - поліуретанову композицію. Зразок із

нанесеним покриттям витримують під навантаженням одну добу, що забезпечує за той час повне формування захисних властивостей покриття.

Приклад застосування способу.

Спосіб застосовували на балкових зразках трубної сталі 17Г1С шириною 9 мм, висотою 15,2 мм, довжиною 160 мм. Дослідження виконували на зразках з труби у вихідному стані (стані поставки) та з труби, що знаходилась в експлуатації 35 років. Спочатку на зразку звичайним способом вирощували коротку втомну тріщину більше 2 мм, не беручи до уваги глибину концентратора і вважаючи, що ефект коротких втомних тріщин повинен проявитися за меншої довжини. Після отримання такої тріщини при рівні розмаху КІН  $\Delta K$ , що дорівнює пороговому КІН  $\Delta K_{th}$  визначали коефіцієнти (залежність ефекту закриття тріщини від довжини тріщини, що наведена на фіг. 2, де крива 1 - для зразків у вихідному стані, а крива 2 - для експлуатованого), для чого періодично на електроіскровому верстаті виконували вздовж тріщини проріз довжиною 0,2 мм і висотою, меншою довжини тріщини. Було встановлено, (фіг. 2) що починаючи з довжини тріщини 1,1-1,2 ефект ЗТ знижується із зменшенням довжини тріщини і за  $\alpha = \sim 0,3$  мм воно зникає, тобто  $U=1$ . Зважаючи на це, для покриття були вибрані довжини тріщини, наведені у таблиці 1.

Для дослідження ЗТ з покриттям були застосовані наступні компоненти покриття. Ізоляційне покриття складається із епоксидної смоли марки ЕД - 10 із отверджувачем, скловолокна марки Т-10-80 і поліуретанової композиції 3м Scotchkote 352.

Покриття наносили на зразок у такій послідовності. Спочатку накладали епоксидну смолу із отверджувачем, потім наносили скловолокно, а зверху - поліуретанову композицію. Покриття витримували одну добу під статичним навантаженням для формування необхідних захисних властивостей. На фіг. 3 наведено схему зображення зміни при циклічному навантаженні (пунктирна і суцільна лінії) номінального та ефективного  $K_{eff}$  КІН (суцільна лінія) після заповнення порожнини короткої втомної тріщини епоксидною смолою, і таким чином штучно створюють ефект ЗТ та зменшується ефективний розмах КІН  $\Delta K_{eff}$ .

На основі експериментально отриманих значень  $\Delta K_{th}$  для коротких тріщин різної довжини визначено відповідні порогові значення КІН на зразках з нанесеним покриттям  $\Delta K_{th}^{покp}$ , дані наведені у таблиці 1. У таблиці 2 наведені значення границі втоми зразків з короткими тріщинами на сталі 17Г1С із нанесеним зміцнювальним покриттям та без нього, з чого видно, що границя втомної міцності зразків із нанесеним покриттям суттєво зростає.

На фіг. 4 наведені залежності границі втомної міцності зразків з нанесеним згідно способу покриттям  $\sigma_{0,05}^{покp}$  і довжини тріщини  $a$ , що свідчить про гальмування зростання тріщини і її зупинку.

Таблиця 1

Порогові значення циклічної тріщиностійкості зразків з короткими тріщинами на сталі 17Г1С з та без зміцнювального покриття

Довжина тріщини, мм	Вихідний стан		Експлуатований стан	
	$\Delta K_{th}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>	$\Delta K_{th}^{покp}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>	$\Delta K_{th}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>	$\Delta K_{th}^{покp}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>
0,28...0,32	3,3	5,7	2,4	5,3
0,48...0,52	5,2	7,5	4,0	7,1
0,78...0,82	6,8	9,8	6,2	9,3
0,99...1,02	8,0	10,7	7,5	10,1
1,18...1,22	8,4	11,8	8,1	11,5

Таблиця 2

Значення границі втоми зразків з короткими тріщинами на сталі 17Г1С з та без зміцнювального покриття

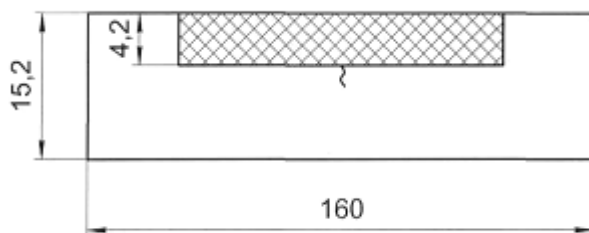
Довжина тріщини, мм	Вихідний стан		Експлуатований стан	
	$\sigma_{0,05}$ , МПа	$\sigma_{0,05}^{покр}$ , МПа·м <sup>3/2</sup>	$\sigma_{0,05}$ , МПа·м <sup>3/2</sup>	$\sigma_{0,05}^{покр}$ , МПа·м <sup>3/2</sup>
0,28...0,32	108	186	78	173
0,48...0,52	131	189	101	179
0,78...0,82	135	196	124	186
0,99...1,02	142	191	134	181
1,18...1,22	136	192	132	187

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

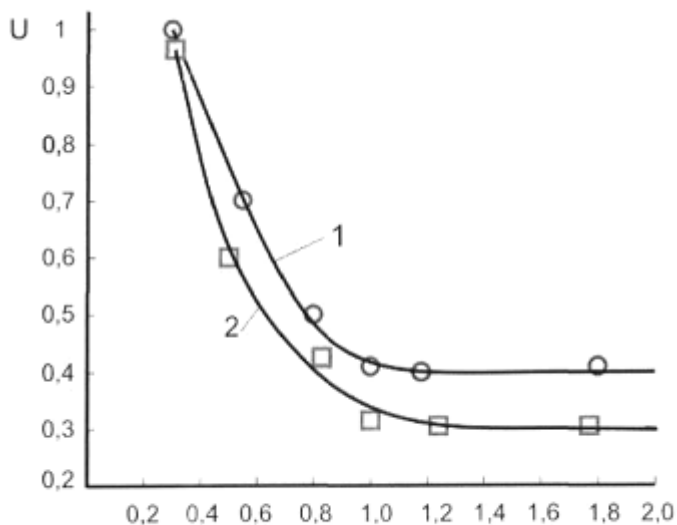
5

Спосіб гальмування росту коротких втомних тріщин поверхні трубопроводів, що включає створення напружень в околі вершини тріщини, заповнення тріщини речовиною, який **відрізняється** тим, що напруження створюють заповненням порожнини тріщини епоксидною смолою під тиском, з можливістю не виводити трубопровід з експлуатації, після чого на трубу наносять скловолокно, а зверху накладають поліуретанову композицію.

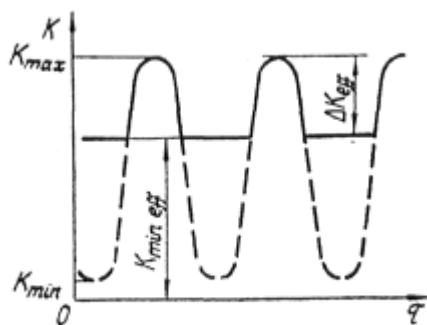
10



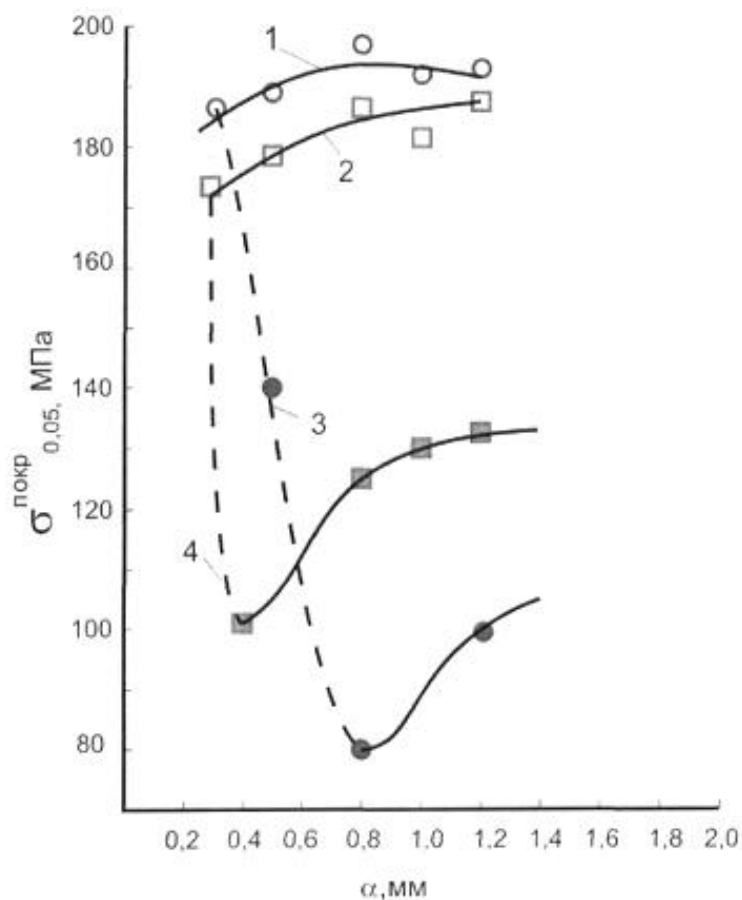
Фиг. 1



Фиг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4

Комп'ютерна верстка М. Ломалова

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