



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **113940** (13) **C2**  
(51) МПК**G01N 3/08** (2006.01)**G01N 3/32** (2006.01)**G01N 3/28** (2006.01)ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**

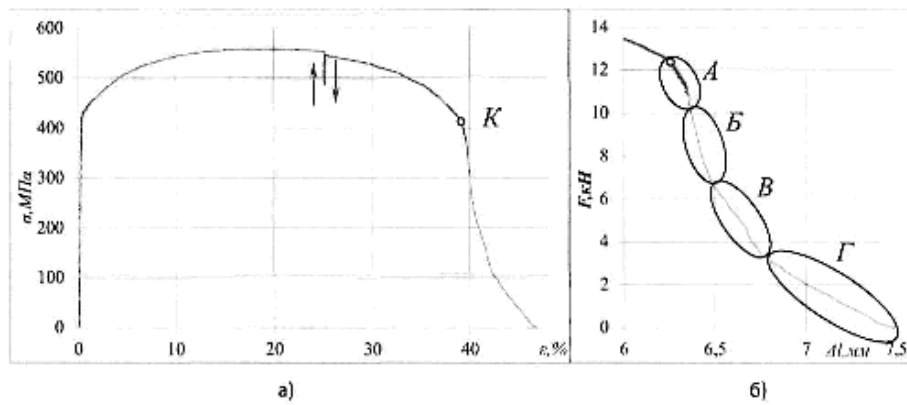
<b>(21)</b> Номер заявки: <b>а 2016 06007</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Чаусов Микола Георгійович (UA),</b> <b>Пилипенко Андрій Петрович (UA),</b> <b>Марущак Павло Орестович (UA),</b> <b>Довганюк Василь Анатолійович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>03.06.2016</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ</b> <b>БІОРЕСУРСІВ І</b> <b>ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ</b> <b>патентний відділ,</b> вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ-41, 03041 (UA)
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>27.03.2017</b>	<b>(56)</b> Перелік документів, взятих до уваги експертизою: Чаусов Н.Г., Недосека С.А., Пилипенко А.П. Комплексная оценка поврежденности пластических материалов при различных режимах нагружения / Техническа диагностика и неразрушающий контроль. – 2004. - №3. – С. 16-21 UA 83523 C2, 25.07.2008 UA 95866 C2, 12.09.2011 UA 97066 C2, 26.12.2011 UA 73208 C2, 15.06.2005 SU 1404885 A1, 23.06.1988 WO 8906790 A1, 27.07.1989
<b>(41)</b> Публікація відомостей про заявку: <b>25.11.2016, Бюл.№ 22</b>	
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>27.03.2017, Бюл.№ 6</b>	

**(54) СПОСІБ ОЦІНКИ ІМПУЛЬСНОГО ВВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ В ПЛАСТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ****(57) Реферат:**

Винахід належить до галузі металургії, а саме до способу імпульсного введення енергії в пластичний матеріал. У способі використовують серію однакових плоских зразків, які статично розтягують при кімнатній температурі (18...22 °С) до різних ступенів деформації, а потім послідовно піддають дії заданих імпульсних підвантажень різної інтенсивності, причому в процесі введення імпульсної енергії в матеріал фіксують величини проскоків пластичної деформації  $\epsilon_{\text{імп}}$ . Після цього зразки повністю розвантажують і на всіх зразках, включаючи і один із вихідного матеріалу без попереднього навантаження, виконують однаковий центральний круговий отвір посередині робочої частини зразків з діаметром  $<1/10$  від початкової ширини зразків та здійснюють повторне статичне розтягування зразків в умовах зрівноваженого деформування до повного поділу їх на частини. Далі оцінюють вплив імпульсного введення енергії на статичну тріщиностійкість матеріалу при змішаному механізмі розповсюдження тріщини за зміною тангенсу кута нахилу початкової практично прямолінійної спадаючої ділянки повної діаграми деформацій ( $\text{tg}\varphi_{\text{імп}}$ ), який характеризує енергозатрати на розповсюдження макротріщини по змішаному типу руйнування, в залежності від  $\epsilon_{\text{імп}}$ . Технічне рішення винаходу дозволяє ефективно і достовірно оцінити вплив імпульсного введення енергії різної

UA 113940 C2

інтенсивності на тріщиностійкість листового пластичного матеріалу по типу при подальшому статичному розтягу.



Фіг. 1

Повна діаграма деформацій трубної сталі 17X1ГC: а - загальний вигляд;  
б - спадаючі ділянки первинної повної діаграми деформування в  
збільшеному масштабі

Винахід належить до галузі металургії, а саме до способу імпульсного введення силової енергії в пластичний матеріал.

Відомий аналог (Лебедев А.А., Чаусов Н.Г. Новые методы оценки деградации механических свойств металла конструкций в процессе наработки. Киев: 2004. - Издательство Института проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины. - 133 с.), передбачає для оцінки зміни статичної тріщиностійкості в результаті впливу попереднього складного навантаження або експлуатаційного напруження використовувати параметр  $K_A$ , який визначається за параметрами початкової практично прямолінійної спадаючої ділянки повної діаграми деформацій при випробуванні циліндричних зразків і відповідає утворенню і росту відривної макротріщини по типу I.

Недоліком аналога є те, що застосування даної методики оцінки тріщиностійкості до листових пластичних матеріалів, особливо тонколистових, ускладнено, так як макротріщина в листовому матеріалі розповсюджується в двох ортогональних напрямках (по товщині і ширині листа). Тому при руйнуванні пластичного листового матеріалу різні механізми руйнування реалізуються не тільки при виході макротріщини на поверхні листа, але і при її розвитку по ширині останнього. В загальному випадку можна виділити чотири області відносних довжин макротріщин, які розвиваються за тим чи іншим мікромеханізмом руйнування (початкова ділянка росту відривної мікротріщини, вихід фронту руйнування на основні грані по товщині листа, який відбувається по механізму "швидкого зсуву", ділянка, яка пов'язана з переорієнтацією направлення руху макротріщини і її подальший рух по широкій стороні зразка).

Таким чином, імпульсне введення енергії в пластичний листовий матеріал може впливати на кожен із чотирьох можливих мікромеханізмів руйнування і тому сумарна оцінка статичної тріщиностійкості листового пластичного матеріалу суттєво ускладнюється, так як на різних ділянках макротріщина розповсюджується по різних типах руйнування: відриву (тип I), поздовжньому зсуву (тип III), змішаному механізму (тип I+III).

Крім того, із-за малості відривної зони в центрі тонколистового матеріалу, нахили початкових спадаючих ділянок повних діаграм деформацій важко ідентифікуються. Тому аналог не дозволяє достовірно оцінити статичну тріщиностійкість пластичного листового матеріалу після даного впливу.

Найбільш близьким аналогом є (Чаусов Н.Г., Недосека С.А., Пилипенко А.П. Комплексная оценка поврежденности пластичных материалов при различных режимах нагружения //Техническая диагностика и неразрушающий контроль. - 2004. - № 3. - С. 16-21.), спосіб оцінки впливу імпульсного введення енергії в пластичний матеріал на механічні властивості при подальшому статичному розтягу, згідно з яким зразки пластичного матеріалу статично розтягують при кімнатній температурі (18...22 °C) до різних ступенів деформації і додатково піддають дії заданих імпульсних підвантажень, а потім зразки повністю розвантажують та повторно статично розтягують в умовах зрівноваженого деформування до повного поділу їх на частини, а вплив імпульсного введення енергії в матеріал оцінюють за зміною механічних властивостей на всіх стадіях повних діаграм деформацій.

Головним недоліком відомого аналога є те, що за його допомогою також неможливо достовірно оцінити статичну тріщиностійкість листового пластичного матеріалу після імпульсного введення енергії.

Винаходом ставиться задача розробити ефективний і достовірний спосіб оцінки впливу імпульсного введення енергії різної інтенсивності на тріщиностійкість пластичного листового матеріалу при подальшому статичному розтягу.

Поставлена винаходом задача вирішується тим, що в способі імпульсного введення енергії в пластичний матеріал, який полягає в тому, що зразки пластичного матеріалу статично розтягують при кімнатній температурі (18...22 °C) до різних ступенів деформації і додатково піддають дії заданих імпульсних підвантажень, а потім зразки повністю розвантажують та повторно статично розтягують в умовах зрівноваженого деформування до повного поділу їх на частини, а вплив імпульсного введення енергії в матеріал оцінюють за зміною механічних властивостей на всіх стадіях повних діаграм деформацій, згідно з пропонованим рішенням, серію однакових плоских зразків додатково послідовно піддають дії заданих імпульсних підвантажень різної інтенсивності і одразу повністю розвантажують, при цьому фіксують величини проскоків пластичної деформації  $\epsilon_{imp}$  в процесі введення імпульсної енергії в матеріал, потім на всіх зразках, включаючи і один із вихідного матеріалу без попереднього навантаження, виконують однаковий центральний круговий отвір посередині робочої частини зразків з діаметром  $\leq 1/10$  від початкової ширини зразків, повторно статично розтягують зразки в умовах зрівноваженого деформування, а вплив імпульсного введення енергії на статичну тріщиностійкість матеріалу при змішаному механізмі розповсюдження тріщини за типом (I+III)

оцінюють за зміною тангенсу кута нахилу початкової практично прямолінійної спадаючої ділянки повної діаграми деформацій ( $\text{tg}\varphi_{\text{імп}}$ ) який характеризує енергозатрати на розповсюдження макротріщини по типу руйнування (I+III), в залежності від  $\varepsilon_{\text{імп}}$ .

У запропонованому способі ефективно використовується технічна можливість забезпечення незмінності мікромеханізму руйнування матеріалу за типом I+III за рахунок нанесення на зразки однакового центрального кругового отвору. В даному випадку забезпечується автотельний ріст макротріщини за змішаним типом (I+III), при цьому на повних діаграмах деформацій фіксуються початкові практично прямолінійні спадаючі ділянки. Оцінка впливу імпульсного введення енергії в матеріал на статичну тріщиностійкість в даному випадку проводиться при абсолютно однаковому змішаному типі руйнування (I+III), а так як в реальних листових конструкціях з достатньо протяжними макротріщинами це є одним із основних типів руйнування, то даний запропонований спосіб дозволяє достовірно оцінювати зміну енергозатрат на розвиток тріщини по типу (I+III).

Вибір співвідношення діаметра отвору  $\leq 1/10$  від початкової ширини зразків дозволяє збільшувати протяжність початкових прямолінійних спадаючих ділянок при зменшенні цього співвідношення і таким чином достовірно оцінювати зміну енергозатрат на розповсюдження макротріщини по типу руйнування (I+III) за зміною тангенсу кута нахилу цих ділянок ( $\text{tg}\varphi_{\text{імп}}$ ) в залежності від інтенсивності імпульсного введення енергії в матеріал. Експериментально встановлено, що коли діаметр отвору дорівнює  $1/10$  від початкової ширини зразків, то протяжність початкових практично прямолінійних спадаючих ділянок повних діаграм деформування вже достатня для достовірного визначення їх тангенсу кута нахилу ( $\text{tg}\varphi_{\text{імп}}$ ).

Як кількісний параметр, який однозначно характеризує інтенсивність імпульсного введення енергії в матеріал, в даному способі запропонована величина проскоків пластичної деформації  $\varepsilon_{\text{імп}}$  в процесі введення імпульсної енергії в матеріал. Таким чином, вдається практично виділити із повної імпульсної енергії, яка вводиться в механічну систему, ту її частину, яка передається безпосередньо на зразок матеріалу.

Крім того, запропонована процедура способу імпульсного введення енергії в пластичний листовий матеріал дозволяє однозначно ідентифікувати момент старту макротріщини по типу (I+III).

Спосіб випробувань реалізовано на базі модернізованої випробувальної машини ZD-100Pu. Машина обладнана пристосуванням, що дозволяє забезпечити імпульсні підвантаження зразка матеріалу різної інтенсивності на будь-якій стадії статичного навантаження, а також пристосуванням, що дозволяє проводити випробування матеріалів в умовах зрівноваженого деформування з записом повної діаграми деформацій.

Установка також обладнана комп'ютеризованою вимірювальною системою з програмним забезпеченням для проведення і обробки результатів випробувань з частотою вимірювань до 100 кГц.

Випробування проводили на плоских зразках товщиною 3 мм і шириною робочої частини 10 мм із трубної сталі 17Х1ГС.

Спосіб досліджень полягав у наступному.

Спочатку зразок трубної сталі у вихідному стані статично розтягували в умовах зрівноваженого деформування з записом повної діаграми деформацій (фіг. 1а). На фіг. 1б в збільшеному масштабі показана спадаюча ділянка первинної повної діаграми деформування, яка показує розвиток макротріщини в листовому пластичному матеріалі по різних мікромеханізмах руйнування (області А, Б, В, Г на фіг. 1б). Ця діаграма підтверджує раніше отримані експериментальні дані про складність інтерпретації даних про статичну тріщиностійкість листових пластичних матеріалів.

Потім серію однакових плоских зразків додатково послідовно піддавали дії заданих імпульсних підвантажень різної інтенсивності і одразу повністю розвантажували, при цьому фіксували величини проскоків пластичної деформації  $\varepsilon_{\text{імп}}$  в процесі введення імпульсної енергії в матеріал. На фіг. 2, для прикладу, подані деякі результати випробувань (зразки № 2, 3, 4).

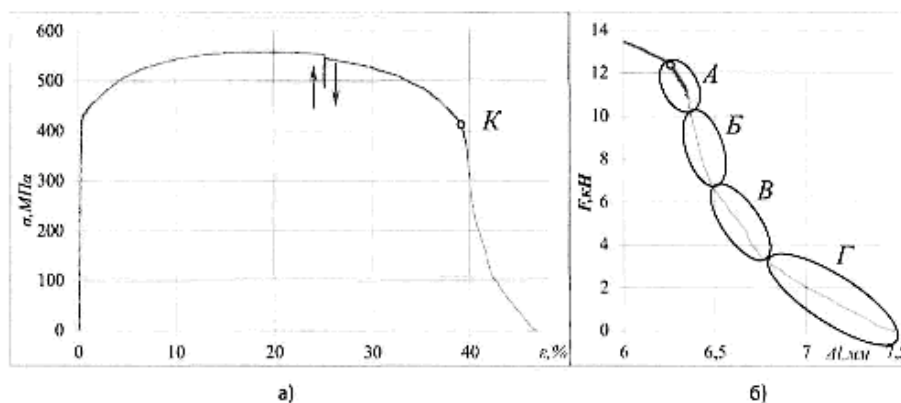
Далі на всіх зразках, включаючи і один із вихідного матеріалу без попереднього навантаження, виконували однаковий центральний круговий отвір діаметром 1 мм по середині робочої частини зразків і повторно статично розтягували зразки в умовах зрівноваженого деформування до повного поділу їх на частини. На фіг. 3 для тих же самих зразків № 2, 3, 4 подані відповідні повні діаграми деформацій при повторному статичному розтягу зразків з круговими концентраторами. Тут же, для порівняння, приведена повна діаграма деформацій зразка з отвором із вихідного матеріалу без попереднього навантаження (зразок № 1). Точками  $K_i$  позначені моменти старту макротріщин по типу (I+III).

Аналіз отриманих експериментальних даних показує, що, по-перше, коли діаметр отвору дорівнює 1/10 від початкової ширини зразків, то протяжність початкових практично прямолінійних спадаючих ділянок повних діаграм деформацій вже достатня для достовірного визначення їх тангенсів кутів нахилу ( $\text{tg}\varphi_{\text{імп}}$ ). По-друге, в залежності від інтенсивності імпульсного введення енергії в листовий пластичний матеріал, яка характеризується величиною проскоків пластичної деформації  $\epsilon_{\text{імп}}$ , нахили початкових практично прямолінійних спадаючих ділянок повних діаграм деформацій, в порівнянні з вихідним матеріалом, змінюються. Це свідчить про зміну енергозатрат на розповсюдження макротріщини по типу (I+III). Так, зокрема встановлено, що тангенс кута нахилу початкової практично прямолінійної спадаючої ділянки повної діаграми деформацій зразка в вихідному стані складає  $\text{tg}\varphi_1=3,43$  МПа (зразок № 1). При  $\epsilon_{\text{імп}}=2,5\%$  (зразок № 2), тангенс кута нахилу ( $\text{tg}\varphi_{\text{імп}})_2=3,98$  МПа, тобто тріщиностійкість зменшується на 13,82 %, в порівнянні з вихідним станом. При  $\epsilon_{\text{імп}}=3,6\%$  (зразок № 3), тангенс кута нахилу ( $\text{tg}\varphi_{\text{імп}})_3=3,48$  МПа, тобто тріщиностійкість зменшується на 1,44 %. Навпаки, при  $\epsilon_{\text{імп}}=5,4\%$  (зразок № 4), тангенс кута нахилу ( $\text{tg}\varphi_{\text{імп}})_4=3,22$  МПа, тобто тріщиностійкість збільшується на 6,12 %.

Технічне рішення винаходу дозволяє ефективно і достовірно оцінити вплив імпульсного введення енергії різної інтенсивності на тріщиностійкість листового пластичного матеріалу по типу (I+III) при подальшому статичному розтягу.

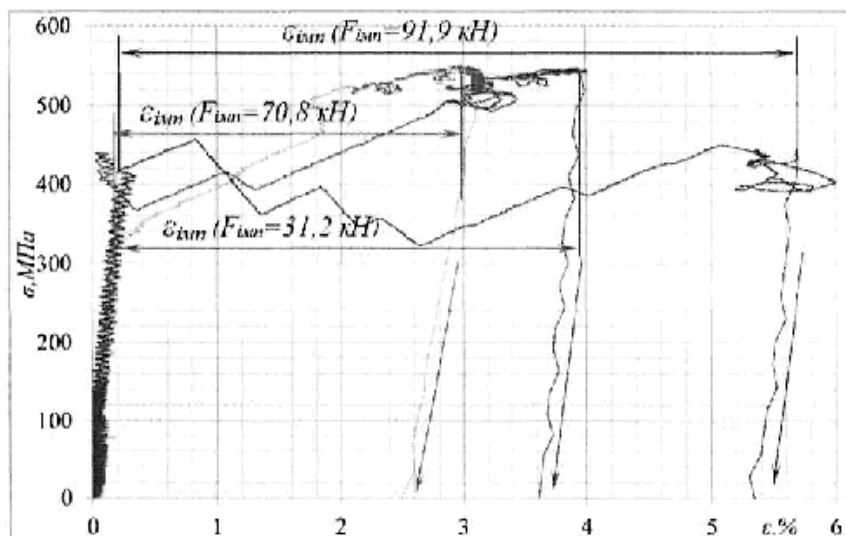
#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб оцінки імпульсного введення енергії в пластичний матеріал, який полягає в тому, що зразки пластичного матеріалу статично розтягують при кімнатній температурі (18...22 °С) до різних ступенів деформації і додатково піддають дії заданих імпульсних підвантажень, а потім зразки повністю розвантажують та повторно статично розтягують в умовах зрівноваженого деформування до повного поділу їх на частини, при цьому вплив імпульсного введення енергії в матеріал оцінюють по повних діаграмах деформацій зразків, який **відрізняється** тим, що використовують серію однакових плоских зразків, які послідовно піддають дії заданих імпульсних підвантажень різної інтенсивності, причому в процесі введення імпульсної енергії в матеріал фіксують величини проскоків пластичної деформації  $\epsilon_{\text{імп}}$ , при цьому після розвантаження на всіх зразках, включаючи і один із вихідного матеріалу без попереднього навантаження, виконують однаковий центральний круговий отвір посередині робочої частини зразків з діаметром <1/10 від початкової ширини зразків та здійснюють повторне статичне розтягування зразків, після чого оцінюють вплив імпульсного введення енергії на статичну тріщиностійкість матеріалу при змішаному механізмі розповсюдження тріщини за зміною тангенсу кута нахилу початкової практично прямолінійної спадаючої ділянки повної діаграми деформацій ( $\text{tg}\varphi_{\text{імп}}$ ), який характеризує енергозатрати на розповсюдження макротріщини по змішаному типу руйнування, в залежності від  $\epsilon_{\text{імп}}$ .



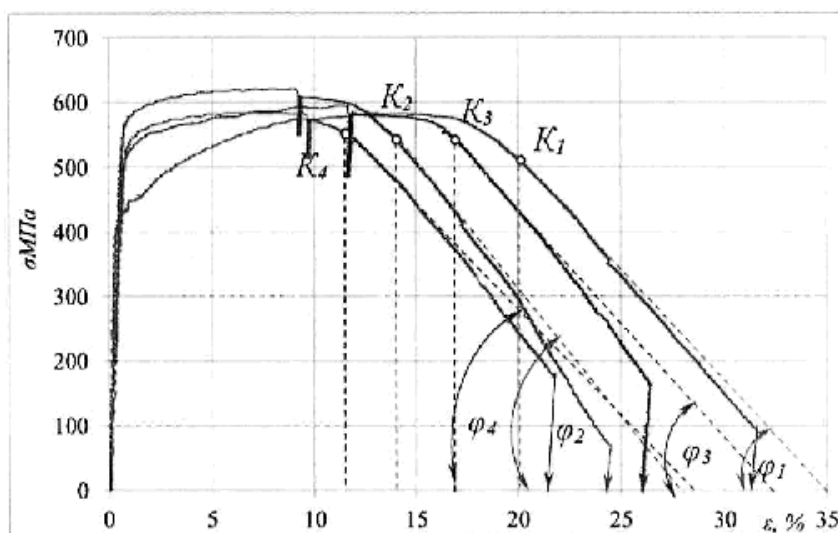
Фіг. 1

**Повна діаграма деформацій трубної сталі 17X1ГC: а - загальний вигляд; б - спадаючі ділянки первинної повної діаграми деформування в збільшеному масштабі**



Фіг. 2

Проскоки пластичної деформації ( $\epsilon_{imp}$ ) в процесі введення імпульсної енергії різної інтенсивності в сталь 17X1ГC



Фіг. 3

Зміна енергозатрат на ріст макротріщини по типу (I+III) за тангенсом кута нахилу ( $\tan \varphi_{imp}$ ) в залежності від проскоків пластичної деформації ( $\epsilon_{imp}$ ) в процесі введення імпульсної енергії різної інтенсивності в сталь 17X1ГC

---

Комп'ютерна верстка О. Гергіль

---

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

---

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