



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 113222

(13) C2

(51) МПК

G01N 3/08 (2006.01)

G01N 3/28 (2006.01)

G01N 3/32 (2006.01)

C22F 1/18 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2015 01612

(22) Дата подання заявки: 24.02.2015

(24) Дата, з якої є чинними
права на винахід: 26.12.2016

(41) Публікація відомостей
про заяву: 10.08.2015, Бюл.№ 15

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: 26.12.2016, Бюл.№ 24

(72) Винахідник(и):

Чаусов Микола Георгійович (UA),
Пилипенко Андрій Петрович (UA)

(73) Власник(и):

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ,
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ-41, 03041
(UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

Чаусов Н.Г., Засимчук Е.Э., Маркашова
Л.И., Вильдеман В.Э., Турчак Т.В.,
Пилипенко А.П., Параца В.М. Особенности
деформирования пластичных материалов
при динамических неравновесных
процессах / Заводская лаборатория.
Диагностика материалов. - 2009. - Т. - 75. -
№ 6. - С. 52-59
Засимчук Е.Э., Маркашова Л.И., Турчак Т.В.
и др. Особенности трансформации
структуры пластичных материалов в
процессе резких смен в режиме нагружения
/ Физическая механика. - Т. 12. - № 2. - С. -
77-82
Чаусов Н.Г., Березин В.Б., Бондар М.Н.
Особенности деформирования материалов
в упругой области при динамических
неравновесных процессах / Техническая
диагностика и неразрушающий контроль. -
№ 3. - 2009. - С. 24-27
UA 104053 C2, 25.12.2013
UA 102393 C2, 10.07.2013
UA 98493 C2, 25.05.2012
UA 88031 C2, 10.09.2009
SU 1404885 A1, 23.06.1988
SU 920445 A1, 15.04.1982
US 2013291647 A1, 07.11.2013

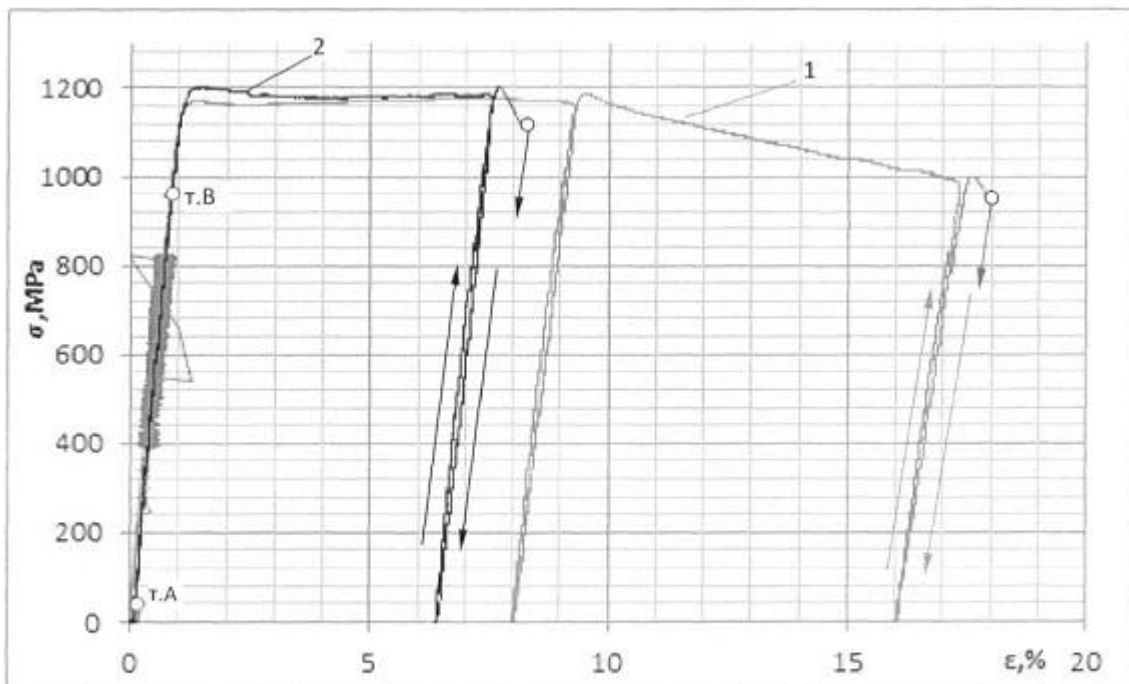
(54) СПОСІБ ОЦІНКИ ІМПУЛЬСНОГО ВВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ У ТИТАНОВИЙ СПЛАВ ПРИ СТАТИЧНОМУ РОЗТЯГУ

(57) Реферат:

Винахід належить до галузі металургії, а саме до способу імпульсного введення енергії у титановий сплав при статичному розтягу. Спосіб оцінки імпульсного введення енергії у конструкційний матеріал при статичному розтягу полягає в тому, що зразки вихідного

UA 113222 C2

матеріалу статично розтягують до різних ступенів деформації, після чого піддають дії заданих імпульсних підвантажень, розвантажують і повторно статично розтягують до руйнування, а вплив імпульсного введення енергії в матеріал оцінюють за зміною міцнісних і пластичних властивостей на різних стадіях у порівнянні з властивостями конструкційного матеріалу на аналогічних стадіях при стандартному статичному розтягу. Як конструкційний матеріал використовують зразки титанового сплаву з наявною вихідною площадкою текучості, які статично розтягують у пружній області до значення напружень не більше $0,5\sigma_T$, а під час дії заданих імпульсних підвантажень забезпечують сумарну величину навантаження на зразок, яка не перевищує величини, при якій напруження на зразок досягає межі текучості вихідного матеріалу. Технічним рішенням запропонованого способу встановлено, що при оптимальних режимах одноразового імпульсного введення енергії в високоміцний титановий сплав можна суттєво збільшити пластичні властивості сплаву, практично в 2,5 разу, при незначному зменшенні міцнісних властивостей. При цьому ефект значного збільшення пластичності високоміцного титанового сплаву за рахунок імпульсного введення енергії реалізований при кімнатній температурі.



Граф. 1

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

При динамічних незрівноважених процесах, які можна реалізувати за рахунок ударно-коливального навантаження, практично всі пластичні матеріали проявляють схильність до короткочасної пластифікації за рахунок створення дисипативної структури, у вигляді об'ємно зв'язаних, на різних масштабних рівнях, тонких смуг (каналів) (Чаусов Н.Г., Засимчук Е.Э., Маркашова Л.И. и др. Особенности деформирования пластичных материалов при динамических неравновесных процессах // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2009, т. 75, № 6, - с. 52-59; Засимчук Е.Э., Маркашова Л.И., Турчак Т.В., Чаусов Н.Г. и др. Особенности трансформации структуры пластичных материалов в процессе резких смен в режиме нагружения // Физическая мезомеханика. - 2009. Т. 12. - № 2 - С. 77-82; Чаусов М.Г., Лучко Й.Й., Пилипенко А.П., та ін. Вплив багаторазових раптових змін в режимі навантаження на деформування пластичних матеріалів // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. Збірн. Наук. Праць. Вип. 8. Львів, Каменярь, 2009. - С. 289-298).

Відомим аналогом (Чаусов Н.Г., Засимчук Е.Э., Пилипенко А.П., Порохнюк Е.М. Самоорганизация структур листовых материалов при динамических неревновесных процессах // Вестник Тамбовского университета. - Серия. Естественные и технические науки. - 2010. - т. 15. - № 3. - с. 892-894) експериментально встановлено, що дисипативна структура має щільність менше щільності основного матеріалу.

При цьому, в залежності від величини енергетичного (силового) імпульсу і ступеня попередньої статичної деформації, при якій матеріал піддається дії заданого імпульсу, може виникнути значна кількість нових упорядкованих структур (станів матеріалу), кожна із яких має нові механічні властивості.

При імпульсивному введенні енергії в матеріал можна забезпечити широкий спектр регулювання міцнісних і пластичних властивостей матеріалу, зокрема пластифікувати будь-який матеріал на стандартній висхідній гілці діаграми деформування; добитися зміни протяжності стадій деформування і зміни міцнісних властивостей на заданих стадіях деформування; реалізувати квазінадпластичний стан при кімнатній температурі (отримати ідеально-пластичну поведінку матеріалу до десятків процентів залишкової деформації) за рахунок багаторазових імпульсних підвантажень; реалізувати резерви механічних властивостей матеріалів на стадії знеміцнення, включаючи і стадію росту макротріщини (Чаусов Н.Г., Засимчук Е.Э., Маркашова Л.И. и др. Особенности деформирования пластичных материалов при динамических неравновесных процессах // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2009, т.75, № 6, - с. 52-59; Засимчук Е.Э., Маркашова Л.И., Турчак Т.В., Чаусов Н.Г. и др. Особенности трансформации структуры пластичных материалов в процессе резких смен в режиме нагружения // Физическая мезомеханика. - 2009. Т. 12. - № 2 - с. 77-82; Чаусов М.Г., Лучко Й.Й., Пилипенко А.П., та ін.. Вплив багаторазових раптових змін в режимі навантаження на деформування пластичних матеріалів // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. Збірн. Наук. Праць. Вип. 8. Львів, Каменярь, 2009. - с. 289-298; Чаусов М.Г., Засимчук О.Є., Волянська К.М. Дослідження процесу прояви площадок текучості при імпульсних підвантаженнях алюмінієвих сплавів // Вісник Нац. техн. універ. "КПІ". Серія: Машинобудування, 2011, № 63. - С. 244-248).

Для дослідників великий інтерес представляють граничні стани самоорганізації структур матеріалів при динамічних незрівноважених процесах, при яких механічні властивості суттєво збільшуються на макрорівні або різко зменшуються, аж до повного руйнування матеріалів.

З технологічної точки зору, проведення таких досліджень необхідно, в першу чергу, з метою виявлення оптимальних режимів імпульсивного введення енергії в матеріал, які сприяють максимальній пластифікації матеріалів без значного погіршення їх міцнісних властивостей.

Попередньо модифіковані таким способом високоміцні матеріали, які, як правило, мають дуже обмежені пластичні властивості в вихідному стані, можна в подальшому широко застосовувати, наприклад, при ударній штамповці.

На жаль, враховуючи той факт, що дисипативні структури створюються при динамічних незрівноважених процесах переважно за рахунок концентрації дефектів в матеріалах, а сама форма і кількість дефектів у матеріалах залежать як від вихідної структури, так і від ступеня попередньої пластичної деформації, дуже важко спрогнозувати ті оптимальні режими імпульсного введення енергії в матеріал, при яких пластифікація матеріалу буде максимальною.

У зв'язку з цим, жоден із відомих способів імпульсного введення енергії в матеріал не дозволяє достовірно спрогнозувати початкові умови реалізації динамічного незрівноваженого процесу, ступінь попередньої статичної деформації матеріалу і значення силового імпульсу на

матеріал, при яких матеріал максимально пластифікується при подальшому статичному розтягу.

Тому для визначення цих умов та для конкретного матеріалу необхідно провести об'ємний обсяг експериментальних досліджень при змінних величинах - ступеня попередньої статичної деформації матеріалу і значення силового імпульсу на зразок матеріалу.

Слід звернути увагу, що для багатьох матеріалів при реалізації динамічних незрівноважених процесів на пластичній стадії деформування можуть відбуватися структурно-фазові зміни в матеріалах, які в подальшому впливають на якість зварних з'єднань із таких модифікованих матеріалів.

Тому бажано, щоб максимальна пластифікація матеріалу відбувалась при реалізації динамічного незрівноваженого процесу на пружній гілці деформування матеріалу.

Найбільш близьким за технічною суттю до рішення, що заявляється, є (Н.Г. Чаусов, Е.Э. Засимчук, Л.И. Маркашова, В.Э. Вильдеман, Т.В. Турчак, А.П. Пилипенко, В.Н. Параца. Особенности деформирования пластичных материалов при динамических неравновесных процессах // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2009. - Т.75. - № 6. - с. 52-59), згідно з яким зразки матеріалу статично розтягують до різних ступенів пластичної деформації і додатково піддають дії заданих імпульсних підвантажень, а потім зразки повністю розвантажують і повторно статично розтягують до руйнування, а вплив імпульсного введення енергії в матеріал оцінюють за зміною механічних властивостей на різних стадіях у порівнянні з механічними властивостями матеріалу на аналогічних стадіях при стандартному статичному розтягу. Головним недоліком відомого способу є те, що за його допомогою неможливо максимально пластифікувати будь-який матеріал при реалізації динамічних незрівноважених процесів на пластичній гілці деформування.

Винаходом ставиться задача розробити ефективний і достовірний спосіб максимальної пластифікації високоміцних, малопластичних матеріалів без суттєвого падіння їх міцнісних властивостей за рахунок імпульсного введення енергії в матеріал.

Поставлена винаходом задача вирішується тим, що у способі імпульсного введення енергії у титановий сплав при статичному розтягу, зразки пластичного матеріалу статично розтягують до різних ступенів пластичної деформації, піддають дії заданих імпульсних підвантажень, розвантажують і повторно статично розтягують до руйнування, а вплив імпульсного введення енергії в матеріал оцінюють за зміною міцнісних і пластичних властивостей на різних стадіях у порівнянні з властивостями конструкційного матеріалу на аналогічних стадіях при стандартному статичному розтягу і, згідно з пропонованим рішенням, зразки з наявною вихідною площиною текучості додатково статично розтягують у пружній області до значення напружень не більше $0,5\sigma_T$ і піддають дії заданих імпульсних підвантажень, а сумарна величина навантаження на зразок досягає величини, при якій напруження на зразок досягає межі текучості вихідного матеріалу, після цього - зразки повністю розвантажують і повторно статично розтягують до руйнування.

У запропонованому способі ефективно використовується технічна можливість виключити вплив пошкоджень при попередньому статичному навантаженні, так як відомо, що при навантаженні матеріалів в пружній області до рівня $0,5\sigma_T$ пори і мікротріщини, які зароджуються, при розвантаженні повністю заліковуються (Финкель В.М. Физические основы торможения разрушения. - М.: Металлургия, 1977. - 359 с.). Тобто при реалізації динамічного незрівноваженого процесу в матеріалі відсутнє поле початкових пошкоджень і тому наново створена дисипативна структура найбільш рівномірно розподіляється по об'єму матеріалу. Цьому також сприяють умови, при яких при заданому рівні імпульсного підвантаження сумарна величина навантаження на зразку не перевищує величини статичного навантаження, яка відповідає межі текучості вихідного конструкційного матеріалу.

В даному випадку динамічний незрівноважений процес повністю реалізується на ділянці пружності матеріалу, при цьому відсутні будь-які прояви смуг локалізації пластичної деформації, через які в подальшому можуть створюватися концентрації напружень і, відповідно, зменшуватися максимально можлива пластична деформація.

Слід також відмітити, що при реалізації динамічних незрівноважених процесів обов'язкова умова попереднього статичного навантаження зразка матеріалу в пружній області також пов'язана з тим, що в даному випадку виключається не співвісність навантаження зразка матеріалу, який закріплюється в сферичних опорах, при передачі силового імпульсу.

Вибір вихідного матеріалу з наявною площиною текучості також дозволяє усунути всі ефекти, пов'язані з нерівномірним розподілом пошкоджень, які створюються, вже при пластичному деформуванні матеріалу.

Таким чином, вдається в максимальному ступені забезпечити однорідність новоствореної дисипативної структури в матеріалі в процесі реалізації динамічних незрівноважених процесів і тому створюються умови для максимальної пластифікації матеріалу при подальшому статичному розтягу.

Методика випробувань реалізована 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.

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 із високоміцного титанового сплаву типу BT23 з явною вихідною площадкою текучості. Була випробувана серія зразків в кількості 15 штук.

Спосіб досліджень полягає у наступному. Перша група зразків із 9 штук була випробувана за наступним режимом. Спочатку їх послідовно статично розтягували в пружній області до значення напружень не більше $0,5\sigma_T$ і піддавали дії заданих імпульсних підвантажень, при яких при заданому рівні імпульсного підвантаження сумарна величина навантаження на зразку змінювалась аж до значення, при якому напруження на зразку досягали межі текучості вихідного конструкційного матеріалу. На граф. 1, для прикладу, показані результати випробувань, коли спочатку зразок матеріалу статично розтягували в пружній області до значення напружень $0,03\sigma_T$ (т. А на кривій 1), а потім піддавали дії заданого імпульсного навантаження $F_{imp}=47,3$ кН. При цьому, при даній сумарній величині навантаження на зразку, напруження на зразку складало $0,85\sigma_T$. Потім зразок повністю розвантажували і повторно статично розтягували до руйнування (крива 1 на граф. 1). В даному випадку максимальна величина деформації сплаву досягала 17,88 %. Для порівняння, на граф. 1 показана крива 2, яка характеризує механічні властивості даного титанового сплаву при стандартному статичному розтягу. Також на граф. 1 стрілками показані повні розвантаження - розвантаження зразків при заданих ступенях деформації.

На граф. 2 подані результати аналогічних випробувань, коли спочатку зразок матеріалу статично розтягували в пружній області до значення напружень $0,08\sigma_T$, а потім піддавали дії заданого імпульсного навантаження $F_{imp}=57,8$ кН. При цьому, при даній сумарній величині навантаження на зразку, напруження на зразку складало практично σ_T (1150 МПа). Потім зразок повністю розвантажували і повторно статично розтягували до руйнування (крива 1 на граф. 2)). В даному випадку максимальна величина деформації сплаву досягала 18,81 %. Для порівняння, на граф. 2 також показана крива 2, яка характеризує механічні властивості даного титанового сплаву при стандартному статичному розтягу.

Аналіз проведених досліджень показав, що оптимальні режими імпульсного введення енергії в високоміцний титановий сплав, при яких матеріал максимально пластифікується при подальшому статичному розтягу, реалізуються, коли динамічні незрівноважені процеси реалізуються в пружній області попередньо статично навантаженого матеріалу і при цьому рівень сумарних напружень на зразку досягає межі текучості вихідного матеріалу.

Далі була випробувана друга партія зразків із трьох штук. В даному випадку зразки матеріалу послідовно статично розтягували в пружній області до різних значень напружень, а потім піддавали дії заданих імпульсних підвантажень і при цьому, при даній сумарній величині навантаження на зразку, напруження на зразку перевищували межу текучості вихідного титанового сплаву. Потім зразок матеріалу повністю розвантажували і повторно статично розтягували до руйнування. Для прикладу, подані деякі результати випробувань (крива 1 на граф. 3, т. А на кривій 1 відповідає напруженню попереднього статичного навантаження). В даному випадку максимальна величина деформації сплаву після реалізації динамічного незрівноваженого процесу і подальшому статичному розтягу досягала приблизно 19 %. Однак, тут слід урахувати, що ця максимальна пластична деформація сплаву включає і пластичну деформацію, котра пов'язана з реалізацією динамічного незрівноваженого процесу і сплавів. В даному випадку, ця деформація складає 3,2 % (див. граф. 3). Тому загальна деформація сплаву при подальшому статичному розтягу до руйнування складала всього 15,8 %. (19 % - 3,1 %; див. граф. 3). Для порівняння, на граф. 3 також показана крива 2, яка характеризує механічні властивості даного титанового сплаву при стандартному статичному розтягу.

Аналіз проведених дослідів показав, що коли в результаті дії заданих імпульсних підвантажень сумарні напруження на зразку перевищують межу текучості вихідного матеріалу, то в даному випадку рівень максимальної величини деформації сплаву при подальшому статичному розтягу може досягнути рівня величин максимальної деформації сплаву першої

випробуваної партії зразків. Однак, коли динамічні незрівноважені процеси в сплаві реалізуються на пластичній стадії деформування, то наявні прояви помітного зменшення міцності матеріалу при подальшому статичному розтягу, в порівнянні з випадками, коли динамічні незрівноважені процеси реалізуються виключно в пружній області попереднього статичного деформування матеріалу.

Для перевірки впливу багаторазових імпульсних підвантажень, які реалізуються в пружній області попереднього статичного деформування матеріалу, на зміну пластичних властивостей титанового сплаву при подальшому статичному розтягу, була випробувана третя партія зразків із трьох штук.

Їх послідовно статично розтягували в пружній області до значення напружень не більше $0,5\sigma_T$ і піддавали два або три рази дії заданих імпульсних підвантажень, при яких при заданому рівні імпульсного підвантаження сумарна величина навантаження на зразку змінювалась впритул до значення, при якому напруження на зразку досягали межі текучості вихідного конструкційного матеріалу. На граф. 4, для прикладу, показані результати випробувань, коли спочатку зразок матеріалу статично розтягували в пружній області до значення напружень $0,08\sigma_T$, а потім піддавали дії заданого імпульсного навантаження $F_{imp}=44,7$ кН. При цьому, при даній сумарній величині навантаження на зразку, напруження на зразку складало $0,9\sigma_T$. Потім зразок повністю розвантажували і повторно статично розтягували в пружній області до значення напружень $0,12\sigma_T$, а потім піддавали дії заданого імпульсного навантаження $F_{imp}=48,5$ кН. При цьому, при даній сумарній величині навантаження на зразку, напруження на зразку складало практично σ_T . Потім зразок знову повністю розвантажували і, аналогічно, третій раз статично розтягували в пружній області до значення напружень $0,19\sigma_T$, а потім піддавали дії заданого імпульсного навантаження $F_{imp}=43,6$ кН. При цьому, за даної сумарної величини навантаження на зразку, напруження на зразку також складало практично σ_T . Потім зразок матеріалу остаточно розвантажували і повторно статично розтягували до руйнування (крива 1 на граф. 4). В даному випадку максимальна величина деформації сплаву складала 5,7 %. Для порівняння, на граф. 4 також показана крива 2, яка характеризує механічні властивості даного титанового сплаву при стандартному статичному розтягу.

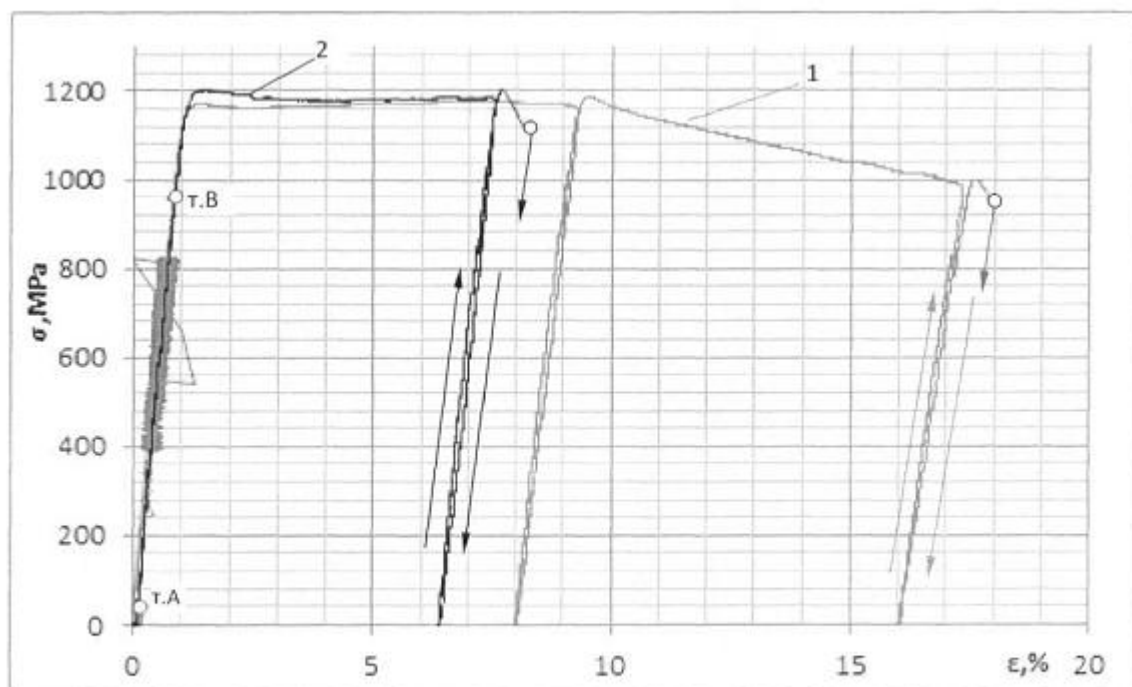
Аналіз проведених дослідів показав, що багаторазові імпульсні підвантаження, які реалізуються в пружній області попереднього статичного деформування матеріалу, значно зменшують максимальну пластифікацію сплаву в порівнянні з випадками, коли динамічний незрівноважений процес реалізується в матеріалі один раз. Ймовірно, в даному випадку поширюється нерівномірність розподілу по об'єму матеріалу наново створеної дисипативної структури, а також створюється значна кількість пошкоджень в матеріалі, про що також свідчить і значне зменшення модуля пружності сплаву (див. граф. 4).

Таким чином, застосування способу дозволить ефективно і достовірно в максимальному ступені пластифікувати високоміцні, малопластичні матеріали.

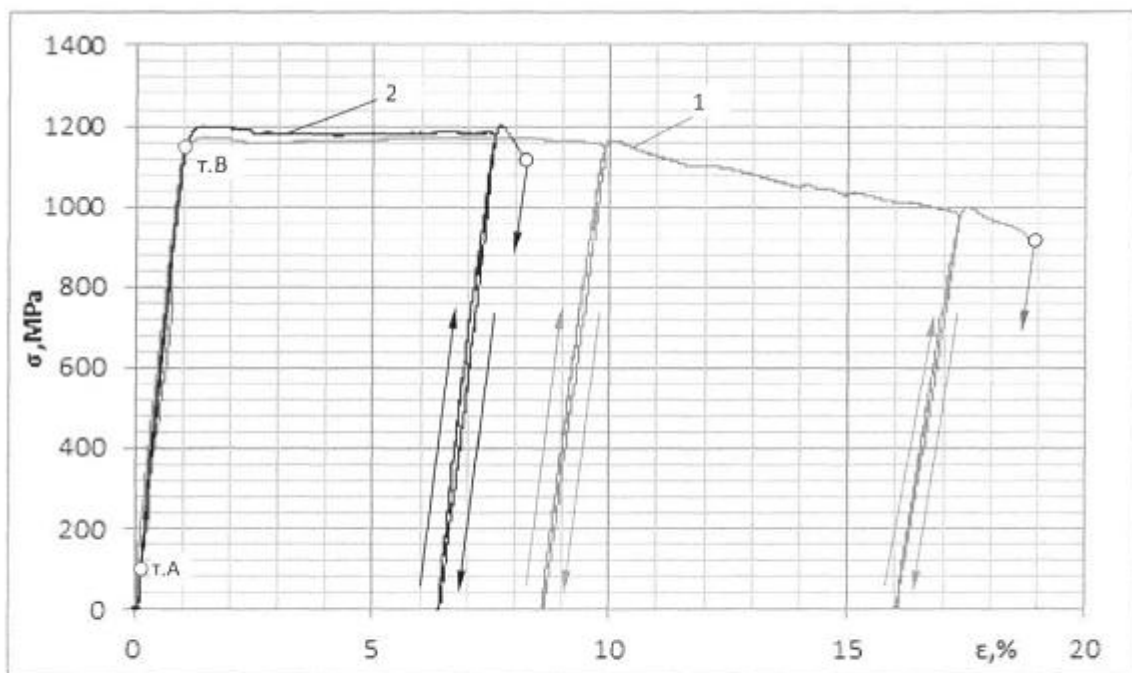
Технічним рішенням пропонованого способу імпульсного введення енергії у титановий сплав при статичному розтягу встановлено, що при оптимальних режимах одноразового імпульсного введення енергії в високоміцний титановий сплав можна суттєво збільшити пластичні властивості сплаву, практично в 2,5 рази, при незначному зменшенні міцнісних властивостей. Слід також особливо підкреслити, що ефект значного збільшення пластичності високоміцного титанового сплаву за рахунок імпульсного введення енергії реалізований при кімнатній температурі.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

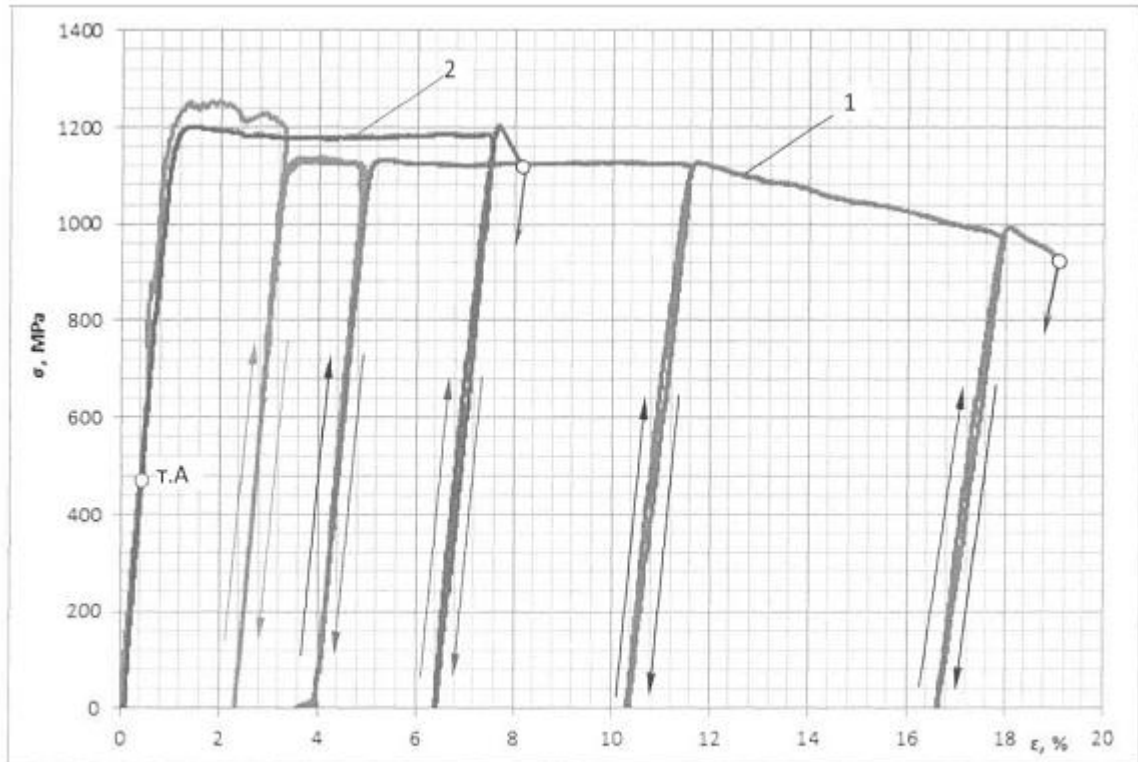
Спосіб оцінки імпульсного введення енергії у конструкційний матеріал при статичному розтягу, який полягає в тому, що зразки вихідного матеріалу статично розтягують до різних ступенів деформації, після чого піддають дії заданих імпульсних підвантажень, розвантажують і повторно статично розтягують до руйнування, а вплив імпульсного введення енергії в матеріал оцінюють за зміною міцнісних і пластичних властивостей на різних стадіях у порівнянні з властивостями конструкційного матеріалу на аналогічних стадіях при стандартному статичному розтягу, який **відрізняється** тим, що як конструкційний матеріал використовують зразки титанового сплаву з наявною вихідною площадкою текучості, які статично розтягують у пружній області до значення напружень не більше $0,5\sigma_T$, а під час дії заданих імпульсних підвантажень забезпечують сумарну величину навантаження на зразок, яка не перевищує величини, при якій напруження на зразку досягають межі текучості вихідного матеріалу.



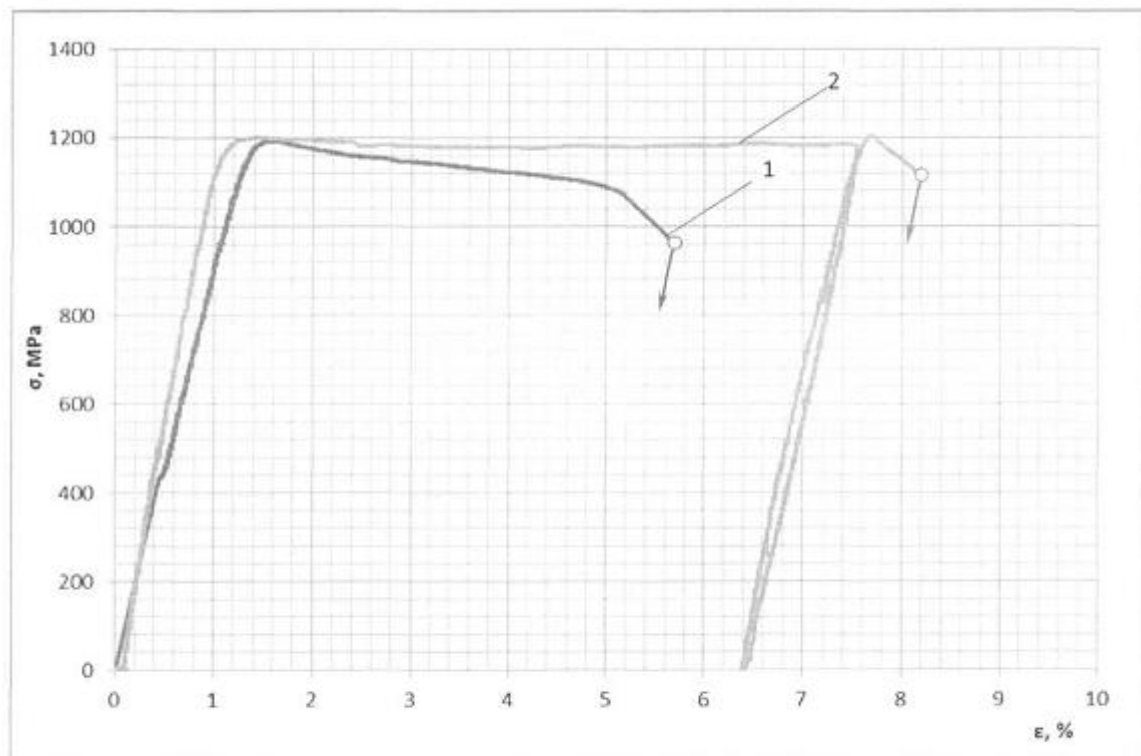
Граф. 1



Граф. 2



Граф. 3



Граф. 4

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

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