



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **144432** (13) **U**  
(51) МПК (2020.01)  
**B23P 9/00**

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ  
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
УКРАЇНИ

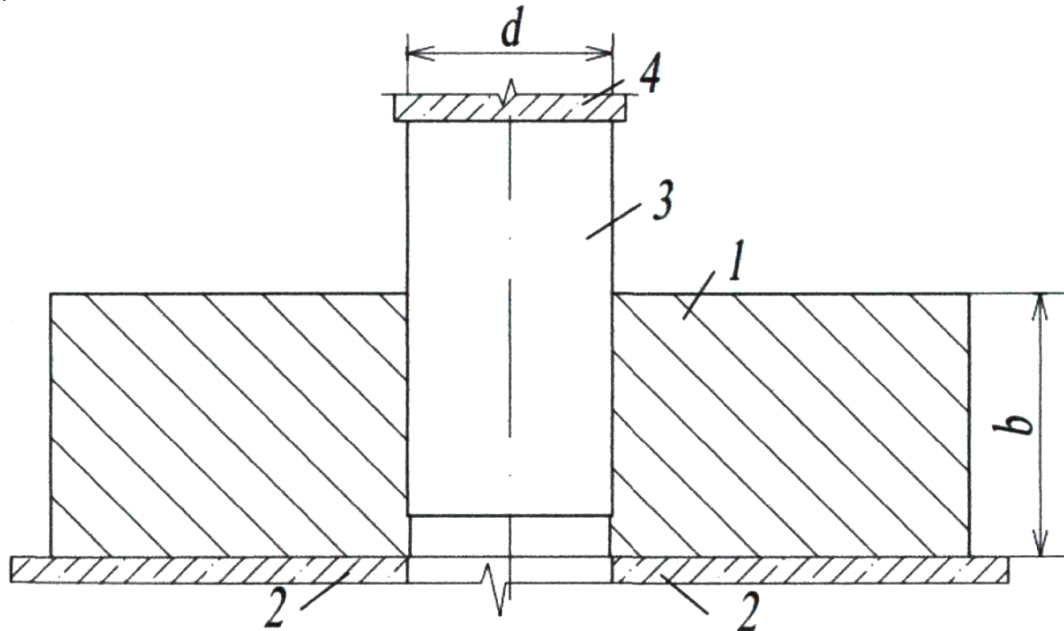
## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: <b>u 2020 03159</b>	(72) Винахідник(и): <b>Ясній Петро Володимирович (UA), Дивдик Олександр Васильович (UA), Ясній Володимир Петрович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>26.05.2020</b>	(73) Володілець (володільці): <b>ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>26.09.2020</b>	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>25.09.2020, Бюл.№ 18</b>	

## (54) СПОСІБ ХОЛОДНОГО ЗМІЦНЕННЯ ОТВОРІВ

### (57) Реферат:

Спосіб холодного зміцнення отворів, при якому робочий інструмент протягують через отвір елемента конструкції, діаметр якого менше діаметра інструмента. Робочому інструменту надають комбіноване переміщення шляхом накладання на поступальний рух циклічної складової.



Фіг. 1

UA 144432 U

UA 144432 U

Корисна модель належить до галузі машинобудування і може використовуватись для холодного зміцнення отворів конструкцій літальних апаратів.

Відомий спосіб зміцнення отворів, при якому робочий інструмент протягують через отвір елемента конструкції, діаметр якого менше діаметра інструмента [Lacaras, V., Smith, D., Pavier, M. (2001). The effect of cold expansion on fatigue crack growth from open holes at room and high temperature. International Journal of Fatigue, 23, 161-170.]

Цей спосіб забезпечує створення залишкових стискувальних напружень в околі отвору в радіальному напрямку, проте значення залишкових стискувальних напружень обмежені границею текучості і границею міцності матеріалу, що обмежує ефективність вказаного методу збільшити втомну довговічність елемента конструкції.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення втомної довговічності шляхом виконання способу холодного зміцнення отворів протягуванням робочого інструмента через отвір елемента конструкції, діаметр якого менше діаметра інструмента, причому робочому інструменту надають комбіноване переміщення шляхом накладання на поступальний рух циклічної складової.

Спосіб, що пропонується, як і відомий спосіб підвищення холодного зміцнення отворів включає операцію розширення отвору, яка полягає в статичному радіальному деформуванні робочим інструментом. Проте при статичному радіальному деформуванні отвору одночасно накладається циклічна складова. Пропонований спосіб може бути застосований до матеріалів, які демонструють збільшення напруження під дією комбінованого навантаження розтягом, порівняно із статичним навантаженням розтягом за однакової деформації.

Запропонований спосіб пояснюється графічними матеріалами, на яких зображено: на фіг. 1 - представлений загальний вигляд виконання способу; на фіг. 2 - зображено залежність переміщення інструмента від часу; на фіг. 3 - зображено діаграми деформування алюмінієвого сплаву Д16ЧТ; на фіг. 4 - зображені значення залишкових напружень в околі отвору пластини після протягування робочого інструмента діаметром 8 мм; фіг. 5 - зображені значення залишкових напружень в околі отвору пластини після протягування робочого інструменту діаметром 10 мм.

Спосіб реалізується наступним чином.

Для реалізації способу холодного зміцнення отворів використовують установку наприклад (прес), яка забезпечує комбіноване переміщення робочого інструменту: на поступальний рух одночасно накладається циклічна складова. Пластина 1 товщиною  $b$  розміщується на столі 2 установки співвісно з робочим інструментом 3 діаметром  $d$ , закріпленим у рухомому затискачі 4. Рухомому затискачу 4 із закріпленим інструментом 3 надають переміщення  $S_0$  (Фіг. 2) до повного його контактування із зразком 1. Після, робочому інструменту 3 надається комбіноване переміщення  $S(t) = a \cdot t + c \cdot \sin \omega t$ , шляхом накладання на поступальний рух циклічної складової, що забезпечує циклічне радіальне пружно-пластичне деформування отвору (тут  $t$  - час;  $a$ ,  $c$ ,  $\omega$  - коефіцієнти, які визначають швидкість поступального руху, амплітуду і частоту циклічного навантаження відповідно). Після проходження робочого інструмента, отвір розвантажується, і в його околі створюються залишкові напруження.

На Фіг. 3 представлені схематичні діаграми деформування одновісним розтягом 5 і комбінованим одновісним розтягом пластини із алюмінієвого сплаву Д16ЧТ, побудовані за мінімальним 6 і максимальним 7 напруженнями.

Границя плинності алюмінієвого сплаву Д16ЧТ за комбінованого деформування, визначена за мінімальним напруженням 6 (нижня огинаюча діаграми деформування)  $\sigma_{02}=240$  МПа і приблизно дорівнює межі плинності за деформування одновісним розтягом, а за максимального 7 напруження  $\sigma_{0.2}=300$  МПа.

На Фіг. 4 представлено залишкові напруження після протягування робочого інструмента діаметром 8 мм у пластині після квазістатичного (найближчий аналог) і комбінованого деформування для розширеного отвору на 2,4 % 8 та 1,4 % 9 та для максимальних значень напружень (взірець 1, 2) для розширеного отвору на 2,4 % 10 та 1,4 % 11.

На Фіг. 5 представлено залишкові напруження після протягування робочого інструмента діаметром 10 мм у пластині після квазістатичного (найближчий аналог) і комбінованого деформування для розширеного отвору на 2,4 % 12 та 1,4 % 13 та для максимальних значень напружень (зразок 3, 4) для розширеного отвору на 2,4 % 14 та 1,4 % 15.

Приклад конкретного виконання способу. З використанням програмного комплексу ANSYS, методом скінчених елементів змодельований процес пружно-пластичного деформування отворів в пластині із алюмінієвого сплаву Д16ЧТ. Розглядали пластину розмірами 40 × 40 мм товщиною 6 мм із алюмінієвого сплаву Д16ЧТ з отвором в центрі. Моделювали комбіноване радіальне деформування отвору робочим інструментом діаметром  $d=8$  та 10 мм, переміщенням

його через отвір пластини. Для моделювання використовували діаграму деформування розтягом 5 та комбінованим розтягом 7, побудовану за максимальним напруженням.

5 Початкові значення діаметрів отворів пластини до і після дорнування, значення залишкових стискувальних напружень за одновісного та комбінованого розтягу на поверхні пластини  $b$  та в середині  $b/2$  по товщині пластини представлені в таблиці.

Таблиця

Результати холодного зміцнення отворів та порівняння залишкових напружень

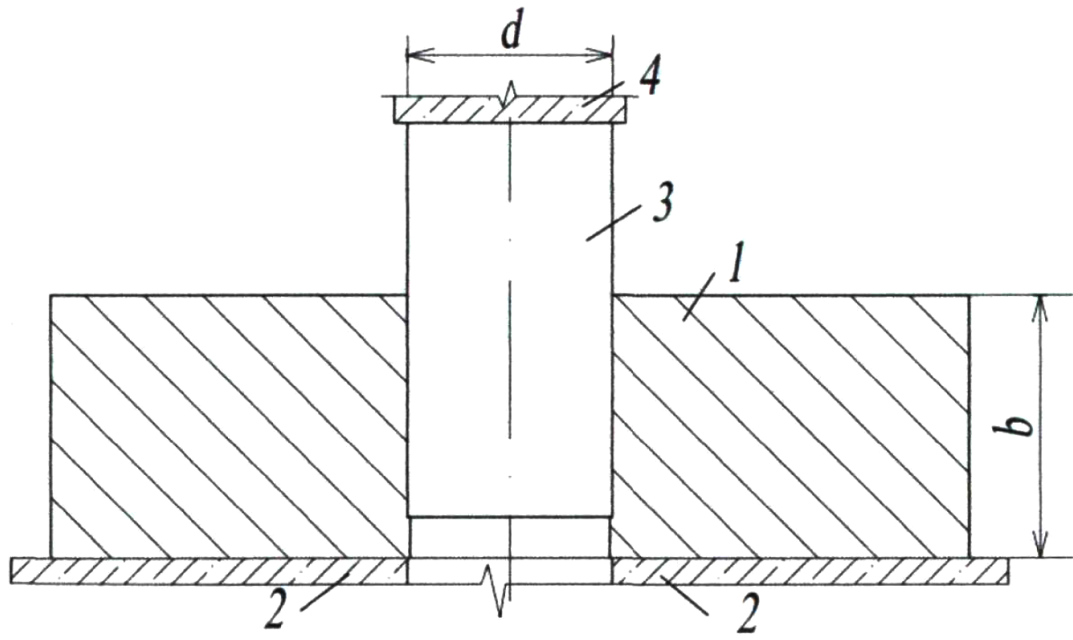
Використаний спосіб	Початковий отвір пластини, мм	Отвір пластини після зміцнення, мм	Відносне розширення отвору, %	Залишкові напруження на поверхні пластини, МПа	Залишкові напруження в середині пластини, МПа
Найближчий аналог	7,76	7,95	2,4	-283	-335
зразок 1	7,76	7,95	2,4	-362	-433
найближчий аналог	7,84	7,96	1,5	-273	-298
зразок 2	7,84	7,96	1,5	-315	-350
найближчий аналог	9,7	9,94	2,4	-268	-329
зразок 3	9,7	9,94	2,4	-360	-419
найближчий аналог	9,8	9,95	1,5	-260	-297
зразок 4	9,8	9,95	1,5	-309	-355

10 Таким чином, запропонований спосіб холодного зміцнення отворів елементів конструкцій комбінованим переміщенням шляхом накладання на поступальний рух циклічної складової до 20 % збільшує залишкові стискувальні напруження в околі отвору, порівняно із способом квазістатичного радіального деформування, що відповідно дозволяє підвищити втомну довговічність зміцнювальної конструкції.

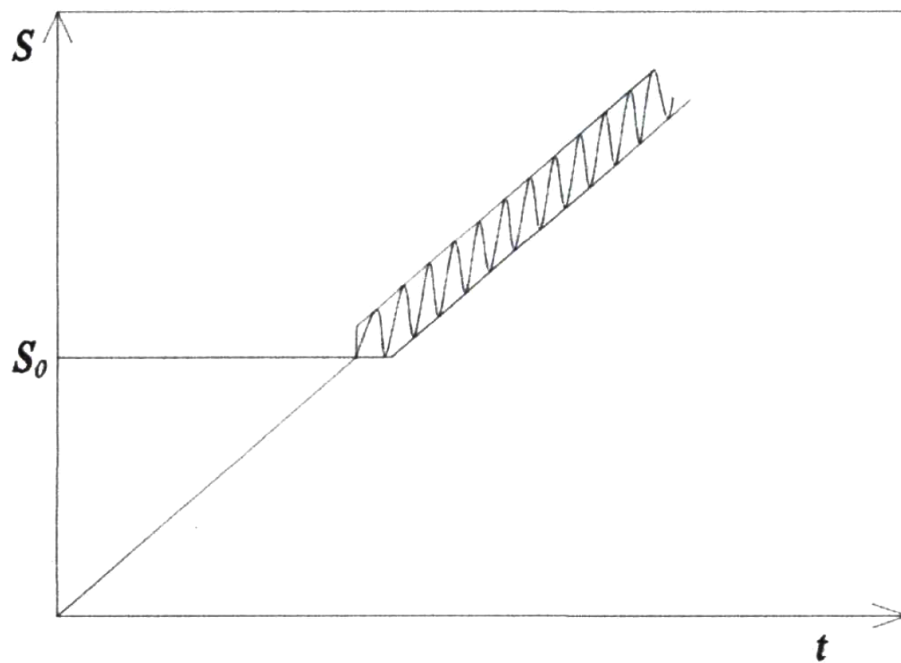
#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

15

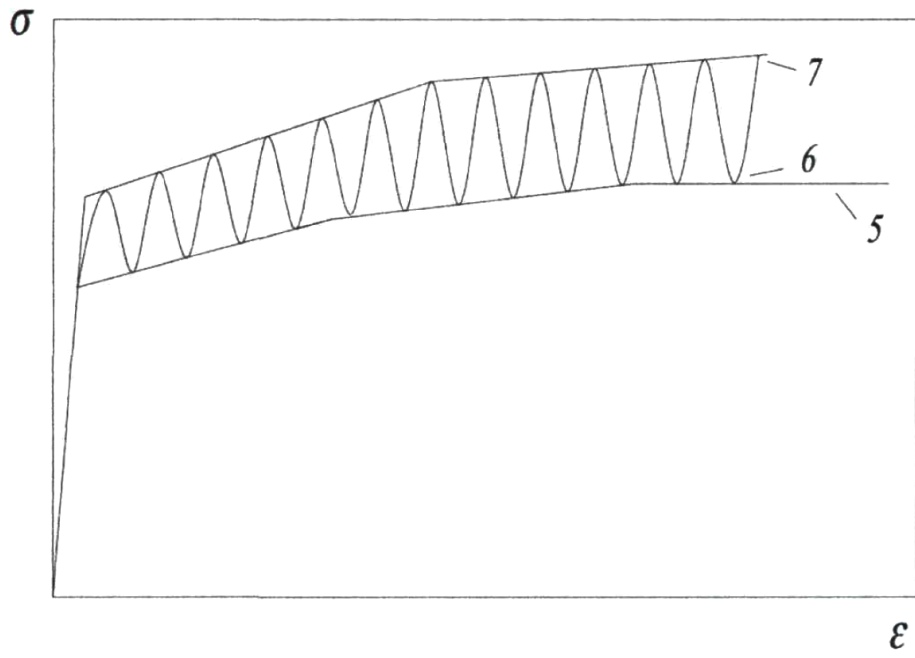
Спосіб холодного зміцнення отворів, при якому робочий інструмент протягують через отвір елемента конструкції, діаметр якого менше діаметра інструмента, який **відрізняється** тим, що робочому інструменту надають комбіноване переміщення шляхом накладання на поступальний рух циклічної складової.



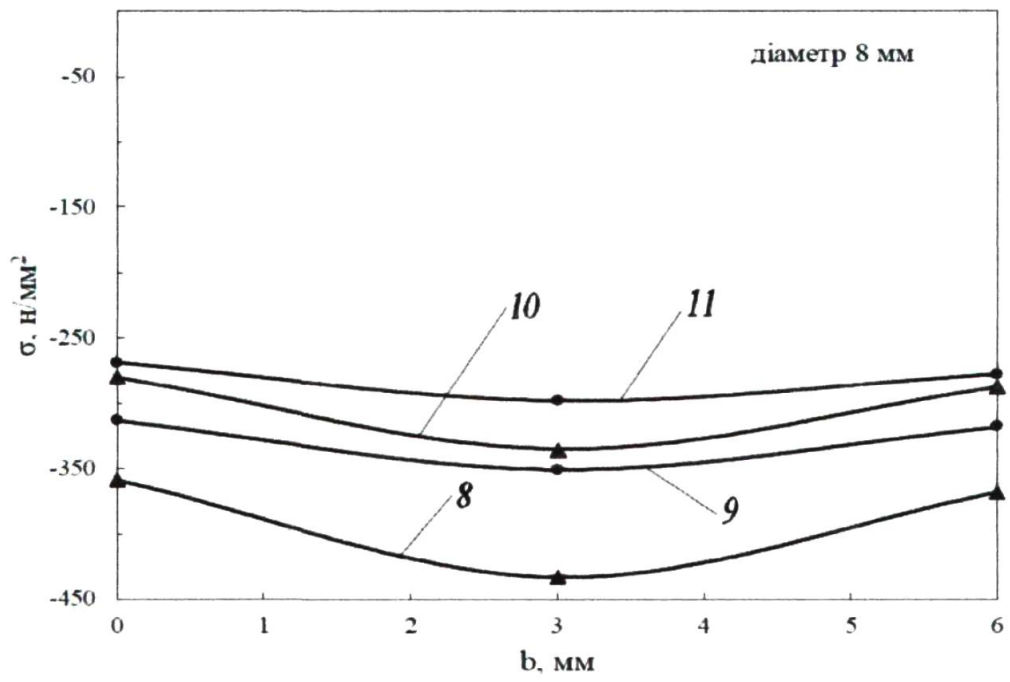
Фиг. 1



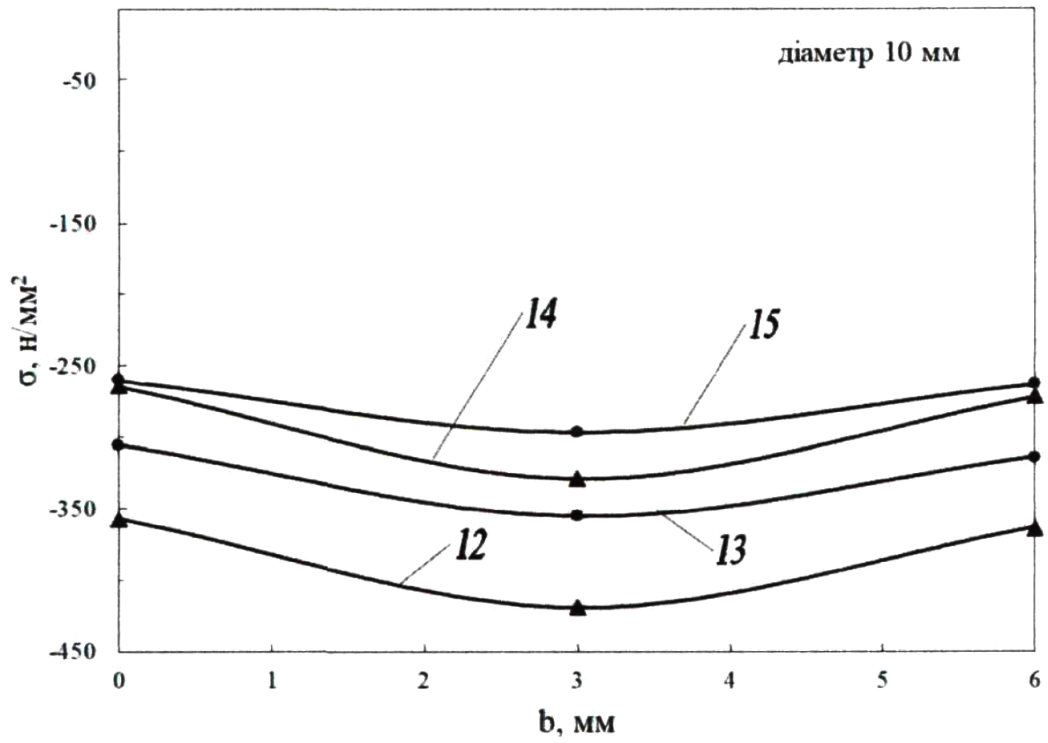
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фіг. 5

---

Комп'ютерна верстка В. Юкін

---

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,  
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

---

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