

**УКРАЇНА****(19) UA (11) 118752 (13) C2****(51) МПК (2019.01)****B32B 3/10 (2006.01)****B32B 3/12 (2006.01)****B32B 3/24 (2006.01)****F02C 7/00****F23R 3/06 (2006.01)**

**МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ**

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2015 09461	(72) Винахідник(и): Бертолді Катя (US), Тейлор Майкл (US), Шенян Алі (CA), Герендаш Міклош (DE), Карсон Карл (CA)
(22) Дата подання заявки: 12.03.2014	(73) Власник(и): ПРЕЗІДЕНТ ЕНД ФЕЛЛОУЗ ОФ ГАРВАРД КОЛЛЕДЖ, 17 Quincy Street, Cambridge, Massachusetts 02138, United States of America (US), РОЛЛЗ-РОЙС КАНАДА, ЛТД., 9500 Cote de Liesse Road, Lachine Montreal, Québec H8T 1A2, Canada (CA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 11.03.2019	(74) Представник: Крилова Надія Іванівна, реєстр. №30
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 61/791,050	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: US 20110059291 A1, 10.03.2011 US 3655501 A, 11.04.1972 US 20110081235 A, 07.04.2011 US 20010122590 A1, 31.05.2007 US 20100315456 A1, 13.12.2012 US 6692812 B1, 17.02.2004 US 6223641 B1, 01.05.2001 US 7594401 B1, 29.09.2009
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 15.03.2013	
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: US	
(41) Публікація відомостей про заявку: 25.10.2016, Бюл.№ 20	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 11.03.2019, Бюл.№ 5	
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ PCT/US2014/024830, 12.03.2014	

(54) АУКСЕТИЧНИЙ ЛИСТОВИЙ МАТЕРІАЛ НИЗЬКОЇ ПОРИСТОСТІ**(57) Реферат:**

Листовий матеріал низької пористості, який включає систему подовжених пористих структур, кожна з подовжених пористих структур містить одну або більше підструктур, першу множину перших подовжених пористих структур і другу множину других подовжених пористих структур, кожна з перших і других подовжених пористих структур мають велику вісь і малу вісь, великі осі перших подовжених пористих структур перпендикулярні великим осям других подовжених пористих структур, перші та другі множини подовжених пористих структур розташовано в матриці з рядків і стовпців, кожен з рядків і кожен з стовпців, чергуються між першими і другими подовженими пористими структурами, причому пористість подовжених пористих структур нижче приблизно 10 %.

UA 118752 C2

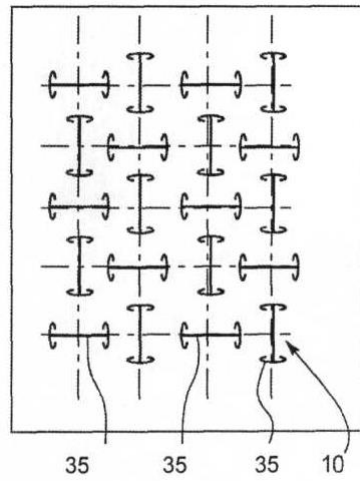


Fig.5(b)

Галузь техніки

Опис винаходу стосується твердих тіл, які мають виконані пористі структури.

Рівень техніки

Існує багато прикладів твердих тіл, які мають виконані пористі структури, які забезпечують широкий спектр механічних, акустичних і теплових характеристик, зокрема для матеріалу, та для практичного застосування.

У патенті США № 5 233 828 показано приклад виконаної пористої структури футеру камери згоряння газової турбіни. Робоча температура камери згоряння газової турбіни може бути приблизно 1649°C (3000°F) або вище. Тому, передбачають футер камери згоряння, щоб її захистити та запобігти термічному пошкодженню інших компонентів газової турбіни. Щоб звести до мінімуму перепади температури і тиску вздовж футеру камери згоряння, вже традиційно, забезпечують охолоджувальні отвори, такі як показані в патенті США № 5 233 828, у вигляді рознесених охолоджувальних отворів, що розташовано у вигляді безперервного візерунка.

В WO 2008/137201 розкрито інший приклад створення пористої структури для футеру камери згоряння газової турбіни. В WO 2008/137201 футер містить множину малих, близько розташованих охолоджувальних отворів в плівці, щоб забезпечити охолоджувальну плівку уздовж гарячого боку футеру (тобто боку, зверненого до гарячих газоподібних продуктів згоряння) від холодного боку футеру (тобто боку, який контактує з відносно холодним повітрям в суміжному проході). Ці охолоджувальні отвори повинні мати неоднаковий діаметр по товщині футеру, при цьому, отвори з холодного боку мають перший діаметр, що є меншим за другий діаметр на гарячому боці, забезпечуючи таким чином відношенням розмірів, що не дорівнює 1,0 (наприклад, відношення другого діаметра до першого діаметра може бути 3,0-5,0).

В патенті США № 8 066 482 показано інший приклад футеру камери згоряння, що має особливу виконану пористу структуру, в якій пори мають вигляд еліптичних отворів, і що мають перший розмір на холодному боці і другий, більший розмір на гарячому боці, таким чином забезпечуючи співвідношення розмірів більше ніж 1. У патенті США № 8 066 482 далі показано, що охолоджувальні отвори еліптичної форми орієнтовано паралельно полю навантаження таким чином, що радіус кривизни розширює поле навантаження і знижує концентрацію навантаження.

В документі EP 0971172 A1 аналогічно показано інший приклад перфорованого футеру, який використовується в зоні горіння газової турбіни.

Зараз футери камер згоряння, такі як вищезазначені, розробляються з певною порожнистою структурою або пористістю, яка визначена як відношення площі отворів до площі структури або як відношення об'єму отворів до об'єму структури, якщо це доречно. Відомі еліптичні форми мають співвідношення розмірів до 50, щоб забезпечити потрібне охолодження, але ці відомі еліптичні форми призводять до дуже високого стиснення на кінцях.

На фіг. 1(a) показано графік залежності Пуасонового коефіцієнта, ν , (вісь Y) від розтягнення (вісь X), що ілюструє поведінку негативного Пуасонового коефіцієнта за результатами експериментальних випробувань, що проведені на гумовому зразку (позначено круглими точками), і чисельних випробувань (моделювання на основі метода кінцевих елементів) (позначено суцільною лінією, обмеженою верхньою та нижньою пунктирними лініями). Вертикальна пунктирна лінія позначає номінальне розтягнення ϵ_c , точка, в якій досягнуто критичне реальне пластичне розтягнення, що дорівнює -0,05. Безперервні рівні деформації, як показано на фіг. 1(b)-1(d), отримують послідовно все більш низькі і низькі значення Пуасонова коефіцієнта, поки, нарешті, його значення не буде нижче нуля і стане негативним. У цих дослідженнях було встановлено, що якщо пористий зразок, що випробовують, було деформовано досить сильно, то може бути як результат забезпечено стан зразка з негативним Пуасоновим коефіцієнтом ("НПК (NPR)"). Таким чином, хоча гума зазвичай має позитивний Пуасонов коефіцієнт, як у більшості звичайних матеріалів, певне розташування еліптичних отворів, як було показано, викликає негативний Пуасонів коефіцієнт і проявляється псевдо-ауксетичні властивості.

Суть винаходу

Опис винаходу стосується твердого тіла, такого як твердий лист, яке має виконану пористу структуру, що забезпечує в твердому тілі, яке має позитивний Пуасонів коефіцієнт, псевдо-ауксетичну поведінку при стисненні твердого тіла. Відповідно до винаходу, матеріал, що має позитивний Пуасонів коефіцієнт, може бути структурно змінено, щоб забезпечити поведінку, на мікроскопічному рівні, матеріалу, що має негативний Пуасонів коефіцієнт (наприклад, матеріал буде розширюватися в поперечному напрямку, якщо його розтягувати, або стискатися, якщо його піддавати стискаючій силі).

Під час стискання матеріалів уздовж певної осі, найбільш часто спостерігають, розширення

в напрямках, ортогонально прикладеному навантаженню. Властивість, що характеризує таку поведінку, описується Пуасоновим коефіцієнтом, який може бути визначено як відношення між негативною поперечною і поздовжньою деформаціями. Більшість матеріалів характеризуються позитивним Пуасоновим коефіцієнтом, який дорівнює приблизно 0,5 для гуми і 0,3 для скла і сталі. Матеріали з негативним Пуасоновим коефіцієнтом будуть скорочуватися (розширюватися) в поперечному напрямку при стисканні (розтягуванні), і, хоча вони в принципі можуть існувати, але практичні приклади таких матеріалів з'явилися відносно недавно. Відкриття і розробка матеріалів з негативним Пуасоновим коефіцієнтом, які також називають "ауксетики", було вперше здійснено Лейкесом (Lakes) в 1987 році. Результати багатьох досліджень показують, що поведінка ауксетика залежить від взаємодії між мікроструктурою матеріалу і його деформацією. Було виявлено, що метали з кубічною кристалічною решіткою, природні шаруваті керамічні матеріали, сегнетоелектричні полікристалічні керамічні матеріали і цеоліти можуть виявляти негативний Пуасонів коефіцієнт. Крім того, декілька форм та механізмів було запропоновано для досягнення негативних величин Пуасонова коефіцієнта, включно з піноматеріалами зі зворотними структурами, ієрархічними ламінатами, полімерними і металічними піноматеріалами з металевими піноматеріалами.

Ефекти при негативному Пуасоновому коефіцієнті було продемонстровано в мікрометричному масштабі, використовуючи комплексні матеріали, які було виготовлено з використанням легкої літографії, та наномасштабі для листових збірок вуглецевих нанотрубок. Значною проблемою при виготовленні матеріалів з ауксетичними властивостями є те, що вони, як правило, мають вкладені структури з складними формами всередині приймаючої матриці. Сам виробничий процес є проблемним в практичному застосуванні. Структура, яка формує основу багатьох ауксетичних матеріалів, є комірковим твердим тілом, а дослідження деформування цих матеріалів досить розвиненою галуззю з основним акцентом на роль деформації згину, на властивість стискатися і на поглинання енергії при стисненні. Зовсім недавно, результати численних комбінованих, експериментальних досліджень показали, що механічні нестійкості в двовірних періодичних пористих структурах можуть викликати суттєві перетворення початкової форми. Зокрема, було виявлено, що одновісне стискання квадратного масиву круглих отворів в еластомірній матриці приводить до структури зі змінними взаємно ортогональними еліпсами, хоча матриця знаходиться під стисненням. Це пов'язано з пружною нестабільністю вище критичної величини прикладеного розтягнення. Перебудова форми, яка спостерігається при нестійкості, є і оборотною і повторюваною, і це відбувається у вузькому діапазоні прикладеного навантаження. Таким чином, така поведінка відкриває можливості для створення перетворюваних матеріалів з властивостями, які можуть бути оборотно змінено. Крім того, було показано, що структурне перетворення призводить до однонаправленої поведінки негативного Пуасонового коефіцієнта для двовірної структури, тобто це відбувається тільки при стисненні. Нескладний процес виробництва зразків і надійність явищ, що спостерігають, створює основу для практичного методу конструювання плоских ауксетичних матеріалів в широкому діапазоні довжин.

Згідно з одним аспектом винаходу, листовий матеріал низької пористості має систему подовжених пористих структур, кожна з подовжених пористих структур включає одну або більше підструктур, першу множину перших подовжених пористих структур і другу множину других подовжених пористих структур, кожна з першої і другої подовжених пористих структур, що мають велику вісь і малу вісь, причому, великі осі перших подовжених пористих структур перпендикулярні великим осям других подовжених пористих структур, перші і другі множини подовжених пористих структур розташовані в матриці з рядків і стовпців, при цьому, кожен з рядків і кожен з стовпців чергуються між першими і другими подовженими порожнистими структурами, а пористість подовжених пористих структур нижче приблизно 10%.

Відповідно з іншим аспектом винаходу пропонується спосіб формування псевдо-ауксетичного матеріалу, який включає операції по створенню тіла, яке є, щонайменше, напівжорстким, і формування в тілі перших подовжених пористих структур і других подовжених пористих структур. Кожна з подовжених пористих структур має велику вісь і малу вісь, великі осі перших подовжених пористих структур є, щонайменше по суті, перпендикулярні великим осям других подовжених пористих структур, подовжені пористі структури розташовують в матриці з рядків і стовпців, причому, кожен з рядків і кожен з стовпців чергуються між першими і другими подовженими порожнистими структурами. Отвори мають конфігурації, що взаємодіють для досягнення поведінки негативного Пуасонового коефіцієнта при стисненні.

Наведений вище короткий опис суті винаходу не призначено для кожного варіанту здійснення або кожного аспекту винаходу. Цей опис показує тільки приклади забезпечення

нових ознак винаходу. Вищевказані ознаки і переваги, а також інші ознаки і переваги даного винаходу, стануть більш зрозумілі з нижченаведеного детального опису прикладів і способів здійснення винаходу, що наведено в поєднанні з доданими кресленнями і формулою винаходу.

Короткий опис креслень

5 На Фіг. 1(a)-1(d), відповідно, показано графік залежності Пуасонового коефіцієнта від величини розтягнення, отриманий на основі експериментальних даних і даних комп'ютерного моделювання для твердого тіла, яке має еліптичні наскрізні отвори, і показані структури, що відповідають конкретним точкам на цьому графіку.

10 На фіг. 2 показано стиснення твердого тіла з виконаною пористою структурою з еліптичними отворами, що забезпечують 40% пористість.

На фіг. 3 показано стиснення у твердому тілі з виконаною пористою структурою, яка має систему щілин і глухих отворів відповідно до аспектів винаходу.

На фіг. 4 показано стиснення твердого тіла з виконаною пористою структурою, яка має систему щілин відповідно до аспектів винаходу.

15 На фіг. 5(a)-5(b) показано приклади виконаної пористої структури з системою наскрізних отворів відповідно до аспектів винаходу, яка включає, відповідно, еліпси з великим співвідношенням розмірів і щілини у вигляді подвійного T.

20 На фіг. 6 показано матеріал відповідно до аспектів винаходу, який має систему виконаних пористих структур, що дозволяє забезпечити матеріал з поведінкою негативного Пуасонового коефіцієнта (НПК).

На фіг. 7 показано елементарна комірка в матеріалі, який містить виконані пористі структури, показані на фіг. 6, відповідно до аспектів винаходу.

25 На фіг. 8(a)-8(c) показано приклади твердого тіла з виконаною порожнистою структурою, яка містить систему наскрізних отворів відповідно до аспектів винаходу, і показаний потік навантаження між суміжними одиничними місцями, де є відповідна реакція на прикладене локальне термічне навантаження (див. фіг. 8 (b)).

На фігурах 9-30 показано різні аспекти і приклади винаходу.

30 Хоча описані аспекти винаходу стосуються різних модифікацій і альтернативних форм, конкретні варіанти здійснення винаходу показано як приклади на кресленнях і будуть описані далі більш детально. Однак слід розуміти, що винахід не обмежується конкретними описаними формами. Навпаки, винахід охоплює всі модифікації, еквівалентні рішення та альтернативні варіанти, що знаходяться в межах суті і об'єму винаходу, що визначено в наведеній формулі винаходу.

Детальний опис

35 Винахід може бути здійснено в багатьох різних формах. На кресленнях показано і далі буде описано детально типові варіанти здійснення винаходу, при цьому слід розуміти, що вони ілюструють принципи винаходу і не призначені для обмеження винаходу показаними варіантами.

40 В цьому детальному описі, якщо конкретно не сказано інше, слово в однині включає і множину та навпаки; слова "і" і "або" є як сполучниками так і розділовими сполучниками; слово "все" означає "будь-які і всі"; слово "будь-який" означає "будь-які і всі"; і слова "включає" і "містить" означають "включаючи, без обмежень". Крім того, наближені слова, наприклад, "близько", "майже", "по суті", "приблизно", тощо, можуть бути використані в цьому документі в значенні "на, поруч, або майже на" або "в межах 3-5%" або "прийнятних виробничих допусків," або будь-якої їх логічної комбінації для прикладу.

45 На фіг. 6 показано матеріал відповідно до аспектів винаходу, який має систему виконаних пористих структур 10 (які містять одну або більше підструктур, таких як подовжена структура 104 і структури 102, що зменшують стиснення на будь-якому кінці подовженої структури), які забезпечують матеріалу поведінку негативного Пуасонового коефіцієнта (НПК). Як показано на 50 фіг. 6, коли структура, більш конкретно вказана елементарна комірка 200, піддається дії стискаючої сили, що показано стрілкою, в напрямку -Y, то стискаюча сила викликає момент 210 навколо центру кожної елементарної комірки 200, спонукаючи комірку 200 до повороту. Кожна комірка 200, в свою чергу, впливає на сусідні елементарні комірки 200, такий ефект пов'язано з тим, що сусідні пори або отвори 100 (які можуть мати одну або більше підструктур 102, 104) 55 розташовані відповідно до аспектів винаходу.

Хоча на фіг. 6 показані, як приклад, пористі структури 10, виконані як щілини у вигляді подвійного T, інші пористі структури (наприклад, еліпси з великим співвідношенням розмірів, інші форми щілин і т.п.) можуть бути використані і забезпечувати подібну поведінку НПК.

60 На фіг. 7 показані, як приклад, сили, які діють на окрему елементарну комірку 200, при цьому, F_E представляє прикладену зовнішню силу, $F_{1,2}$ представляє прикладені сили від

суміжної сусідньої комірки зліва (показано, місце в матриці $F_{x,y}$), $F_{2,3}$ представляє прикладені сили від суміжної сусідньої комірки нижче, і $F_{1,4}$ представляє прикладену силу від суміжної сусідньої комірки праворуч. Кожна елементарна комірка 200 здійснює поворот в напрямку, протилежному напрямку дії найближчих сусідів, як показано на фіг. 6. Цей поворот призводить до зменшення в X-напрямку відстані між сусідніми комірками по горизонталі. Іншими словами, стиснення структури в напрямку Y, як показано на фіг. 6 стрілкою, що вказує напрямок -Y, змушує матеріал, що складається з елементарних комірок 200 стискатися в напрямку X, проявляючи таким чином "псевдо-ауксетичні" властивості або поведінку НПК. Навпаки, розтягнення в напрямку +Y призводить до розширення в напрямку X, знову таки проявляючи "псевдо-ауксетичні" властивості або поведінку НПК. В масштабі всієї структури, це імітує поведінку ауксетичного матеріалу, хоча матеріали, з яких утворені елементарні комірки 200, є звичайними матеріалами з позитивним Пуасоновим коефіцієнтом.

Повертаючись до фіг. 2, тут показана виконана порожниста структура 10, яка використовувалась в дослідженнях, показаних на фіг. 1(a)-1(d), і акцентується увага на стисканні твердого матеріалу. В цьому прикладі виконана порожниста структура включає еліптичні отвори 12, які визначають 40% пористість. Ці еліптичні отвори 12 мають сильну кривизну і, отже, високе стиснення і пластичність, що, відповідно, зменшує довговічність. Стрілками вказані точки максимальної кривизни еліпса і, отже, на точки максимального стиснення.

На фіг. 2 також продемонстрований доказ ідей винаходу, матеріал, як приклад, що має пористість 40%, не будуть придатний для застосування у всіх випадках. Наприклад, у вищезазначених футерах камер згоряння газової турбіни, зазвичай, прагнуть використовувати матеріали (наприклад, кільцеві листи матеріалу), які мають пористість близько 1-3%, при цьому робоча пористість залежить від конкретних цілей конструкції для даного застосування (наприклад, теплопередача, акустика, довговічність і т.п.).

На фіг. 3 показане інше тверде тіло, яке має виконані пористі структури 10, відповідно до, щонайменше, деяких аспектів винаходу, які включають систему щілин 20 і глухих отворів 15 (розташованих на кожному кінці щілини 20). Така система щілин 20 і глухих отворів 15 забезпечує малу кривизну в порівнянні з еліпсами 12 на фіг. 1, а, отже, забезпечує низьке стиснення і малу пластичність, а тому, відповідно, збільшену довговічність. Також показано стискання, а стрілки вказують на точки максимальної кривизни еліпса і, отже, точки максимального стиснення. Глухі отвори 15 використовуються для зупинки поширення тріщин і вони розміщені на кінці прямої щілини 20, щоб зменшити стискання в цьому місці. Довжина щілини 20 має такі розміри, щоб забезпечувати необхідну поведінку.

На відміну від еліпсів 12 на фіг. 2, система щілин 20 і глухих отворів 15 на фіг. 3 забезпечує пористість тільки близько 3-4%, що робить цю структуру прийнятною для особливих застосувань, в тому числі в камерах згоряння газових турбін. Звичайно, для таких застосувань, структура повинна бути реалізована всередині матеріалів, які підходять для такого застосування, включаючи, але не обмежуючись, полікристалічні або монокристалічні матеріали на нікелевій основі, суперсплави на залізо-нікелевій основі і кобальтовій основі або інших високотемпературних, корозійно-стійких сплавів, без обмеження. Приклади таких сплавів включають, але не обмежуються ними, Інконел (Inconel) (наприклад IN600, IN617, IN625, IN718, в X-750, і т.д.), Веспалой (Waspaloy), Рене (Rene) сплави (наприклад, Рене (Rene) 41 Рене 80, Рене 95, Рене N5), Хайнес (Haynes), сплави (наприклад, хастеллой (Hastelloy) X), Інколой (Incoloy), MP98T, TMS сплави, і CMSX (наприклад, CMSX-4) монокристалічні сплави.

Слід підкреслити, що виконані пористі структури 10, описані як приклад в даному документі, можуть бути звичайними матеріалами з позитивним Пуасоновим коефіцієнтом, наприклад, суперміцні сплави, зазначені вище, які проявляють "псевдо-ауксетичні" властивості або поведінку НПК. Футер камери згоряння, наприклад, виконують з матеріалу, що містить певні порожнисті структури для потрібного застосування. На відміну від звичайних матеріалів, які використовують відомі візерунки з еліптичних пор, що мають співвідношення розмірів до 50, щоб отримати потрібну поведінку (і в результаті дуже високе навантаження на кінці), виконані пористі структури 10, описані тут, наприклад, щілини 30 з елементом 35 для послаблення напруги (як буде описано нижче) здатні забезпечити меншу пористість в і, отже, дозволити пропускати менше повітря крізь матеріал.

На фіг. 4 представлено стиснення твердого тіла, яке має пористу структуру 10, що має систему щілин 30 відповідно до аспектів цього винаходу. У показаному прикладі щілини 30 виконані у вигляді подвійного Т з структурами 35 послаблення стиснення на кожному кінці кожної щілини 30. У зображених структурах 35 послаблення стиснення горизонтальна частина "Т" вигнута назад у формі еліпса з великою кривизною на стику з вертикальною секцією, щоб

зменшити стиснення в цьому місці. Щілина 30, вертикальна частина "Т", є прямою щілиною з таким розміром в довжину, щоб створювати передбачувану поведінку. Як і у випадку, показаному на фіг. 3, така система щілин 30 має малу кривизну, порівняно з еліпсами на фіг. 2, і, отже, забезпечує мале стиснення і малу пластичність, що забезпечує відповідну подовжену довговічність. Стрілки вказують на точки максимальної кривизни еліпса і, отже, точки максимального стиснення. На відміну від еліпсів 12 на фіг. 2 щілини 30 на фіг. 4 забезпечують пористість тільки близько 1-2%.

Структури 30, 35 з щілинами у вигляді подвійного Т, які знижують ступінь кривизни структурних елементів 35 для послаблення стиснення знижують стиснення. На стику щілини 30 і структурних елементів 35 кривизна, взагалі, є розтягнутою по всій довжині, що забезпечує розподілення стиснення на більшій частині цієї довжини, створюючи значне зменшення місцевого навантаження.

Взагалі, описані виконані пористі структури можуть бути застосовані до будь-якого твердого матеріалу (наприклад, бетону, металу тощо) і не обмежуються, наприклад, газовими турбінами або камерами згоряння газових турбін. Наприклад, при застосуванні для камери згоряння, ці виконані пористі структури 10 переважно відтворюють макроскопічну псевдо-ауксетичну поведінку (негативний Пуасонів коефіцієнт) при значно меншій пористості, тому при меншій витраті повітря для охолодження і демпферування. Навіть якщо ця структура була зроблена зі "звичайного" сплаву, придатного для такого застосування, вона буде стискатися в бічному напрямку, коли буде знаходитися під осьовим тиском, без металу, з якого вона зроблений, маючи негативний Пуасонів коефіцієнт. Така поведінка, як уже зазначалось, викликана власно спеціально виконаною порожнистою структурою.

На фіг. 5(a)-5(b) показані приклади виконаних пористих структур 10 відповідно до аспектів винаходу, які мають, відповідно, еліпси 60 з великим співвідношенням розмірів і щілинами 30 у вигляді подвійного Т, відповідно. Візерунок виконаної пористої структури 10 відповідно до винаходу включає горизонтальні і вертикальні структури (наприклад, щілини у вигляді подвійного Т, щілини з глухими отворами, еліпси з великих співвідношенням розмірів і т.п.), розташовані на горизонтальних і вертикальних лініях таким чином, що лінії знаходяться на однаковій відстані в обох напрямках ($\Delta x = \Delta y$). Центри канавок знаходяться в точках на перетині ліній, а вертикальні і горизонтальні щілини чергуються на вертикальних і горизонтальних лініях. Вертикальні щілини оточені горизонтальними щілинами уздовж ліній (і навпаки), і наступні вертикальні щілини знаходяться на обох діагоналях. Візерунок щілин назовні циліндричного компонента еквівалентний візерунку на листі (вертикаль = напрямку по осі, горизонталь = напрямку по окружності). Але, в такій конструкції, форма щілини всередині є різною через різні радіуси цієї поверхні. Осьові щілини мають меншу коротку вісь, ніж назовні, але більш довгу вісь. Окружні прорізи мають більшу коротку вісь, ніж назовні, але більш коротку довгу вісь.

Змінюючи геометрію системи виконаних пористих структур 10 відповідно до винаходу можна регулювати Пуасонів коефіцієнт, що з'являється. Шляхом збільшення довжини (ин) цих нових елементів Пуасонів коефіцієнт може бути адаптований до бажаного. Наприклад, велика вісь еліпсів 60 на фіг. 5 (а) може бути збільшена або зменшена для регулювання Пуасонового коефіцієнта. Власно мала вісь еліпсів забезпечує можливість зміни ефективного Пуасонового коефіцієнта, але тільки вдрує впливає на можливість досягнення негативного Пуасонового коефіцієнта. Крім того, для інших систем виконаних пористих структур 10 відповідно до винаходу, таких як щілина у вигляді подвійного Т, подовжена щілинна структура (наприклад, 104 на фіг.6) першочергово впливають на негативний Пуасонів коефіцієнт, а елементи для зниження стиснення або структури з більш короткими поперечними елементами впливають в другу чергу (щонайменше, окремо), забезпечуючи можливість повороту елементарних комірок 200 (див, наприклад, фіг. 6), що сприяє створенню псевдо-ауксетичної поведінки.

За, щонайменше, деяких аспектів винаходу, вищезгаданий випробовувальний зразок, показаний вище з посиланням на фіг. 1(a)-1(d), може бути стиснено для визначення зміни Пуасонового коефіцієнта, коли випробовуваний зразок деформують під дією стиснення. При певному рівні деформації "миттєвий" Пуасонів коефіцієнт може бути визначений в залежності від рівня деформації. Проектувальник системи або компонента, після прийняття рішення, який Пуасонів коефіцієнт має бути для цього конкретного застосування, може визначити (наприклад, з використанням довідкової таблиці і т.п.), відповідний рівень деформації, який відповідає цільовому Пуасоновому коефіцієнту, а потім визначити геометрію отворів при таких умовах. Ця геометрія отворів потім може бути відтворена (вироблена) на нестисненій частині для отримання компонента з бажаним Пуасоновим коефіцієнтом.

На фігурах 8(a)-8(c) показані приклади твердого тіла з виконаною порожнистою структурою 10, яка містить систему наскрізних отворів відповідно до аспектів винаходу, показану у по суті

стійкому стані (фіг. 8(a)), при прикладеній локалізованого термічного навантаження 75 (фіг. 8(b)), і потік навантаження (стрілки 85) між сусідніми місцями блоку, який є відповіддю на прикладене локальне термічне навантаження (фіг. 8(c)). Відповідно до винаходу, матеріал, що має виконану пористу структуру 10, яку описано тут, у відповідь на термічне місцеве навантаження стиснення в одному напрямку, викликає в матеріалі з позитивним Пуасоновим коефіцієнтом поведінку, властиву матеріалу з НПК, а при стисненні в іншому напрямку зменшується термічне навантаження в цьому напрямку. Механізм також працює і навпаки, так що термічне навантаження, викликане гарячою точкою, забезпечує сильне зниження у всіх напрямках. Цей ефект є сильнішим, ніж просто впливі зниженої жорсткості. Стиснення в гарячій точці зменшується на 50%, що призводить до підвищення границі витривалості на кілька порядків.

Іншою корисною ознакою виконаних пористих структур 10, розкритих тут, є те, що щілини з глухими отворами (фіг. 3) або щілини у вигляді подвійного Т (фіг. 4) забирають менше матеріалу з листа, в якому вони утворені, що прискорює виробництво. Крім того, як зазначалося раніше, щілини з глухими отворами (фіг. 3) або щілини у вигляді подвійного Т (фіг. 4) мають значно меншу пористу фракцію (меншу пористість), в результаті чого значно зменшується використання повітря (наприклад, використання при застосуванні в газових турбінах).

Пористі структури 10, розкриті тут, переважно, можуть бути сформовані різних розмірів і/або різних конфігурацій залежно від застосування. Як приклад, охолоджуючий або глушильний отвір в елементі гарячої секції газової турбіни зазвичай знаходиться в діапазоні від приблизно 0,5 мм до 3 мм в діаметрі. При такому застосуванні, пористі структури 10, відповідно до аспектів цього винаходу, повинні мати конфігурацію з приблизно однаковою площею поперечного перерізу для полегшення в такій же мірі повітряного потоку. Там де передбачені щілини з глухими отворами (наприклад, фіг. 3), глухі отвори могли б просто займати місце конфігурації із звичайними отворами. Отже, отвори можуть покривати той же діапазон діаметрів від 0,5 мм до 3 мм і бути рознесені на відстань між 2 мм до 20 мм. Щілина повинна перекривати відстань між двома сусідніми отворами. Подібним чином, як до розмірів щілин і зменшувачів поперечних навантажень в щілині у вигляді подвійного Т (див, наприклад, фіг. 4), поздовжня довжина щілини у вигляді подвійного Т має той самий розмір, як і в попередній формі, а саме, між 2 мм і 20 мм. Поперечне розширення для зниження навантаження може бути від 10% до 50% поздовжньої довжини. Що стосується еліпса з великим співвідношення розмірів, то розмір великої осі (від кінця до кінця), як очікується, буде між 2 мм і 20 мм, а співвідношення розмірів складає між 5 і 50.

Розмір пор залежить від товщини компонента і способу виготовлення. Наприклад, наведені вище розміри, які не є обмежувальними розмірами, в основному пов'язані з лазерним виробництвом та роботою в помірно задимленому середовищі, такому як газотурбінний двигун. Наприклад, в умовах чистого повітря, розмір може бути зменшений, а пора може бути виготовлена шляхом різання пучком електронів і дорівнювати, приблизно, 1/10 розміру, наведеного вище, або менше.

Хоча багато варіантів втілення і режимів здійснення даного винаходу були описані докладно вище, фахівці в галузі техніки, до якої даний винахід відноситься, можуть здійснювати альтернативні конструкції і варіанти винаходу в межах обсягу, викладеного в прикладеній формулі винаходу. Наприклад, кожна з виконаних пористих структур 10, розкритих тут, може мати одну структуру (наприклад, з еліпсів з великим співвідношення розмірів) або декілька структур (наприклад, щілина зі знижувачем навантаження на кожному кінці). Ці структури можуть бути сформовані в існуючому матеріалі та/або утворені в процесі формування матеріалу, використовуючи будь-який спосіб обробки, такий як, але не обмежуючись ним, лазерне різання, різання пучком електронів, різання водяним струменем, фотолітографія (оптична літографія, УФ літографія і т.д.), або використовуючи мікротехнологію.

Слід розуміти, що хоча в кожному з описаних тут варіантів здійснення винаходу використовуються уніфіковано ті ж самі структури, даний винахід включає і використання різних структур, описаних тут, в комбінації. Наприклад, система пористих структур 10 в єдиній структурі, відповідно до винаходу, може включати комбінацію будь-яких еліпсів з великим співвідношенням розмірів та/або щілину зі знижувачами навантаження, та/або щілину з глухими отворами на обох кінцях, та/або щілину у вигляді подвійного Т.

Крім того, форми порожнин, описані тут, не є обмежувальними. Різні форми можуть бути використані відповідно до винаходу, за умови, що досягається поведінка НПК, показана на фіг. 6, і елементарні комірки обертаються у відповідних напрямках, як описано. Форми пор можуть бути вибірково змінені в залежності від вимог застосування.

Крім того, прикладені до цього документа слайди відповідають застосуванню структури,

утвореної з металу, на протигагу звичайній структурі, яка має стандартну матрицю круглих наскрізних отворів, тим самим демонструючи, що винахід можна застосовувати для металу так, як і для випробної гуми.

5

ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

1. Листовий матеріал низької пористості, який включає:

систему подовжених пористих структур, кожна з подовжених пористих структур містить одну або більше підструктур, першу множину перших подовжених пористих структур і другу множину

10

других подовжених пористих структур, кожна з перших і других подовжених пористих структур мають велику вісь і малу вісь, великі осі перших подовжених пористих структур перпендикулярні великим осям других подовжених пористих структур, перші та другі множини подовжених пористих структур розташовані в матриці з рядків і стовпців, кожен з рядків і кожен зі стовпців чергуються між першими і другими подовженими порожнистими структурами,

15

причому перші і другі подовжені порожнисті структури виконані у формі щілин у вигляді подвійного Т так, щоб пористість подовжених пористих структур була нижче приблизно 10 %, а система подовжених порожнистих структур визначає елементарні комірки, які у відповідь на

20

однорічне навантаження викликають в листовому матеріалі появу характеристик негативного Пуассонового коефіцієнта.

2. Матеріал за п. 1, в якому пористість подовжених пористих структур нижче приблизно 4 %.

3. Матеріал за п. 2, в якому щонайменше перші і другі подовжені порожнисті структури мають щілини з глухими отворами на обох кінцях щілин.

4. Матеріал за будь-яким одним з пп. 1-3, в якому листовий матеріал містить щонайменше один з полікристалічного або монокристалічного сплаву.

25

5. Матеріал за п. 4, в якому листовий матеріал містить суперсплав на основі нікелю, залізо-нікелю або кобальту.

6. Матеріал за п. 1, в якому у вказаній системі рядки розташовано з однаковими проміжками один від одного, і стовпці розташовано з однаковими проміжками один від одного.

30

7. Матеріал за п. 6, в якому кожна з подовжених пористих структур має центр на перетині великої і малої осей, центр кожної з подовжених пористих структур розміщено у відповідній точці перетину одного з рядків і одного зі стовпців матриці.

8. Матеріал за п. 6, в якому розташування подовжених пористих структур в матеріалі залишаються незмінними, коли матеріал розміщений під навантаженням.

35

9. Матеріал за п. 6, в якому форма подовжених пористих структур в матеріалі не змінюється, коли матеріал розміщений під навантаженням.

10. Спосіб виготовлення псевдоауксетичного матеріалу, який включає:

забезпечення тіла, яке є щонайменше напівжорстким; і

створення в тілі перших подовжених пористих структур і других подовжених пористих структур,

40

де кожна з подовжених пористих структур має велику вісь і малу вісь, великі осі перших подовжених пористих структур, щонайменше по суті, перпендикулярні великим осям других подовжених пористих структур, подовжені порожнисті структури розташовані в матриці з рядків і стовпців, причому кожен з рядків і кожен зі стовпців чергуються між першими і другими подовженими порожнистими структурами, причому перші і другі подовжені порожнисті структури

45

виконують у формі щілин у вигляді подвійного Т, а розміри подовжених порожнистих структур є такими, що забезпечують прояв поведінки негативного Пуассонового коефіцієнта під навантаженням.

11. Спосіб за п. 10, в якому пористість подовжених пористих структур нижче приблизно 4 %.

12. Спосіб за п. 11, в якому перші і другі подовжені порожнисті структури мають щілини з глухими отворами на обох кінцях щілин.

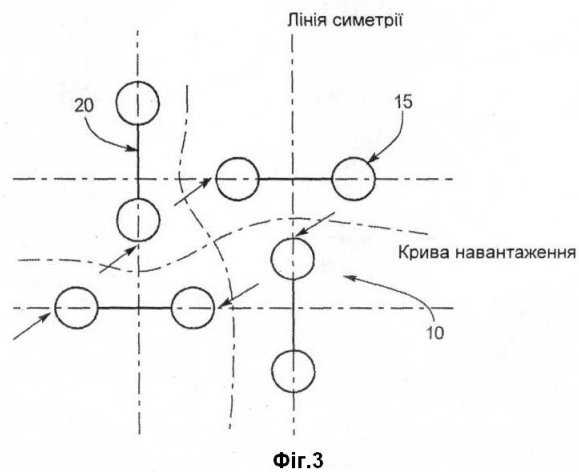
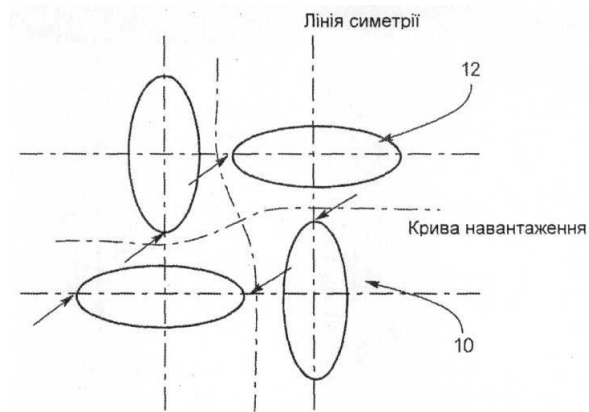
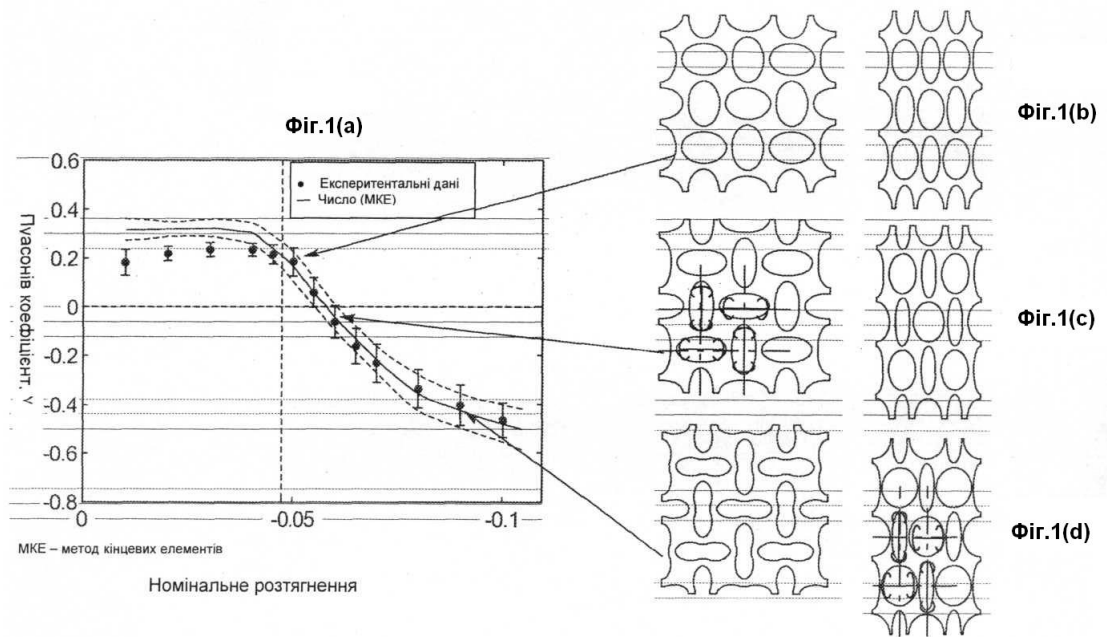
50

13. Спосіб за будь-яким з пп. 10-12, в якому в матриці рядки розміщують з однаковими проміжками один від одного, і стовпці розміщують з однаковими проміжками один від одного.

14. Спосіб за будь-яким з пп. 10-12, в якому кожна з подовжених пористих структур має центр на перетинах великої і малої осей, причому центр кожної з подовжених пористих структур розміщують у відповідній точці перетину одного з рядків і одного зі стовпців матриці.

55

15. Спосіб за п. 13, в якому кожна з подовжених пористих структур включає центр на перетинах великої і малої осей, причому центр кожної з подовжених пористих структур розташований у відповідній точці перетину одного з рядків і одного зі стовпців матриці.



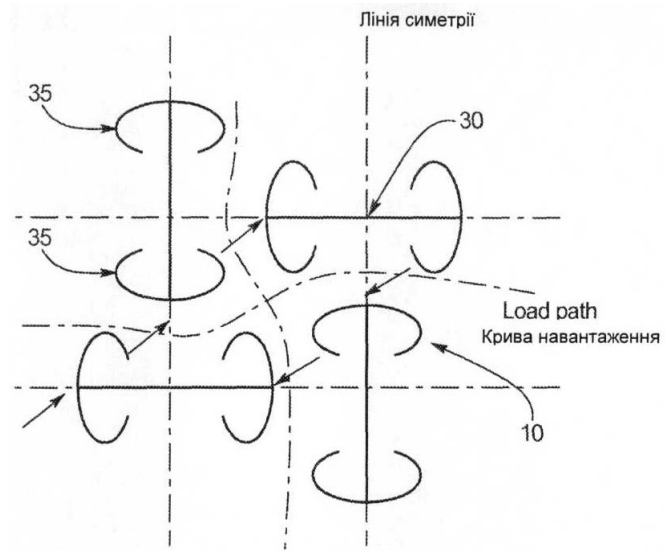


Fig. 4

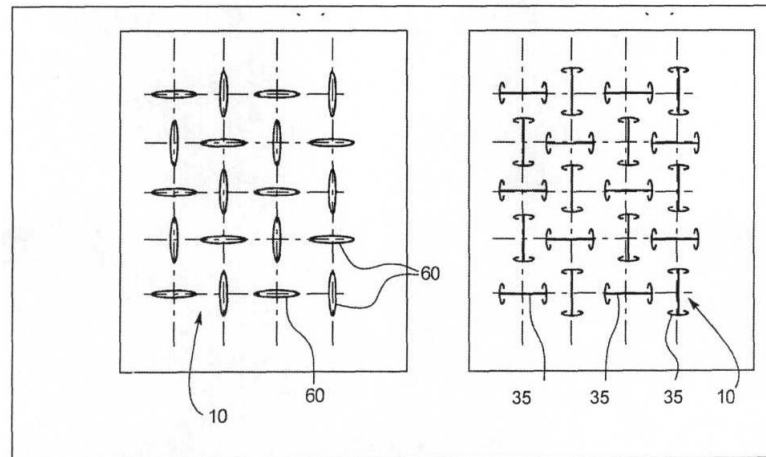


Fig. 5(a)

Fig. 5(b)

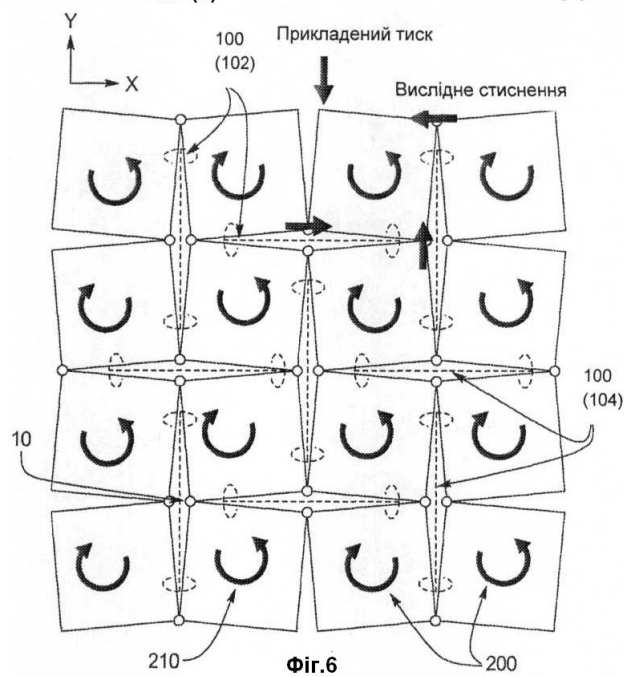
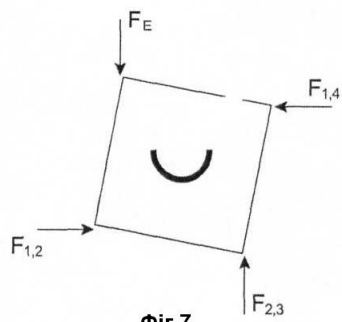
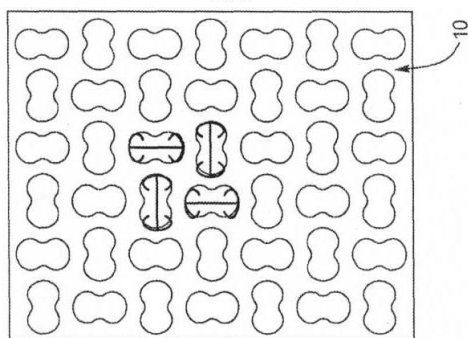


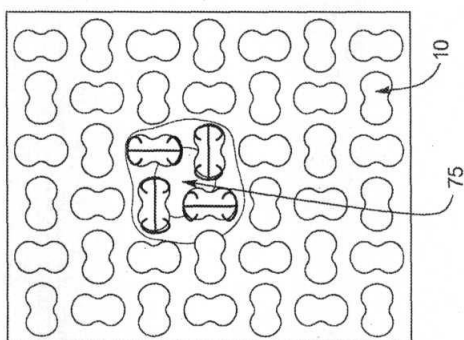
Fig. 6



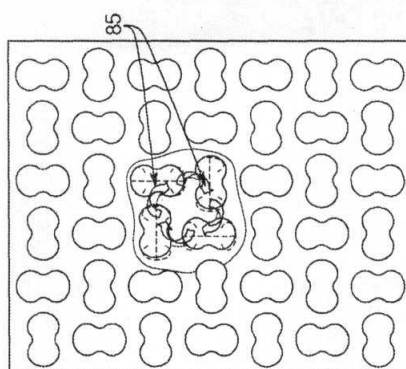
Φir.7



Φir.8(a)



Φir.8(b)



Φir.8(c)

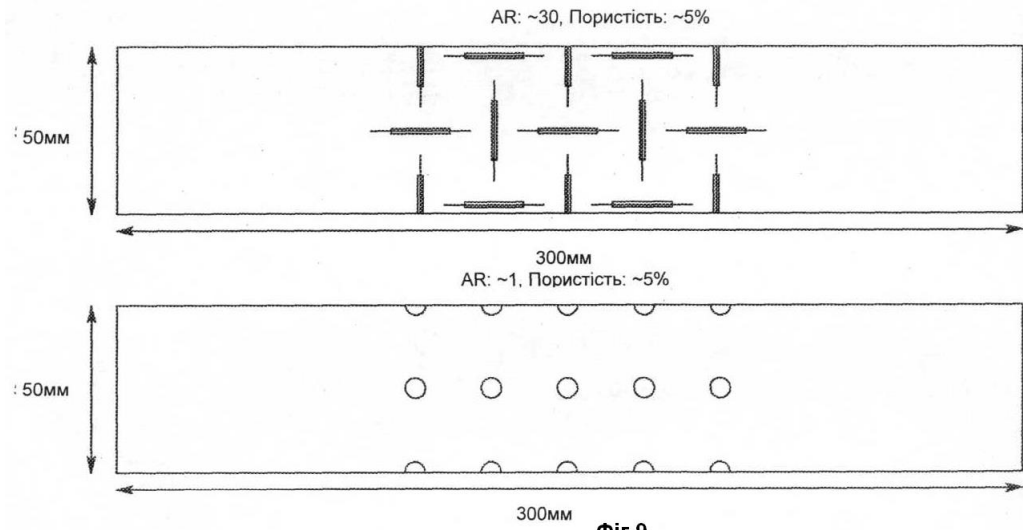


Fig. 9

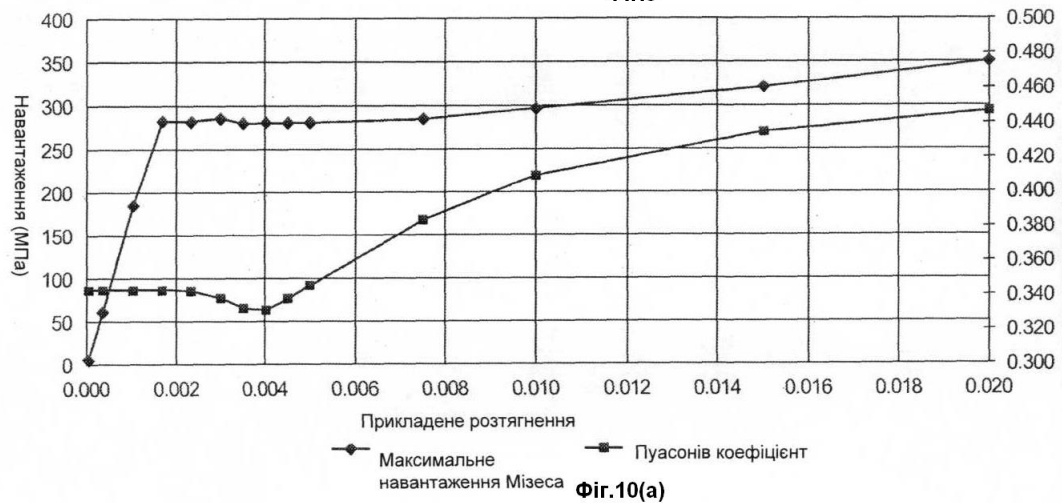


Fig. 10(a)

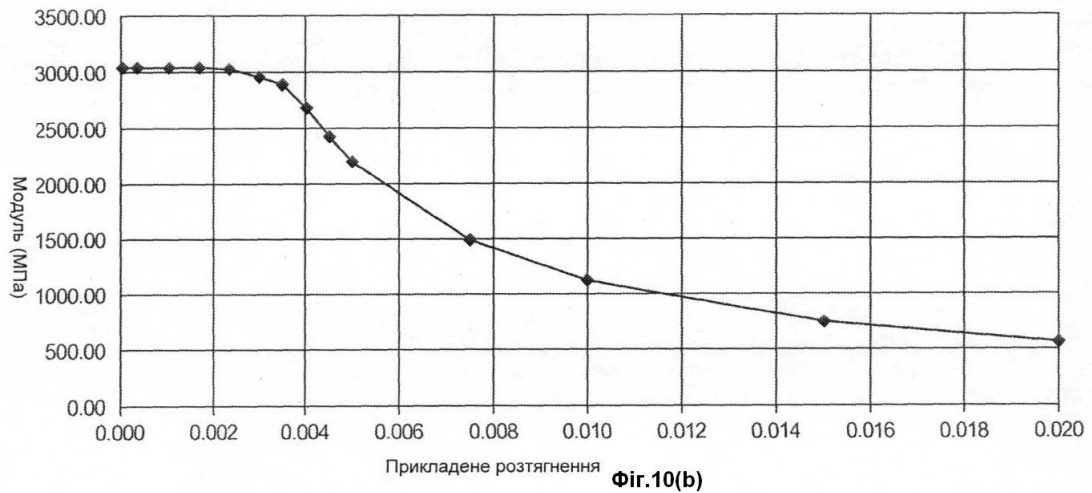
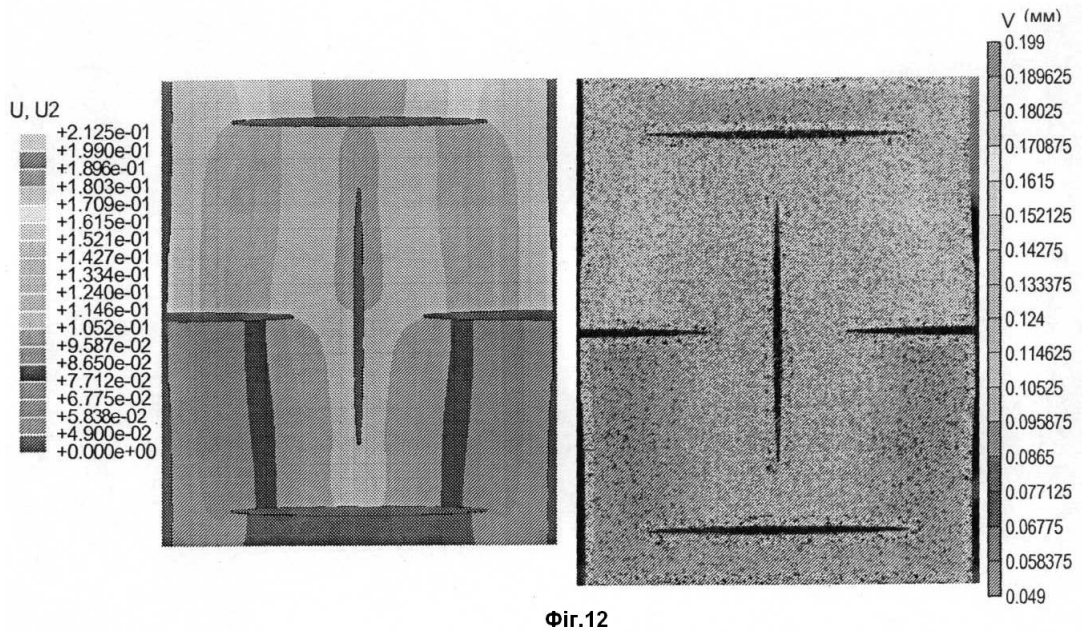
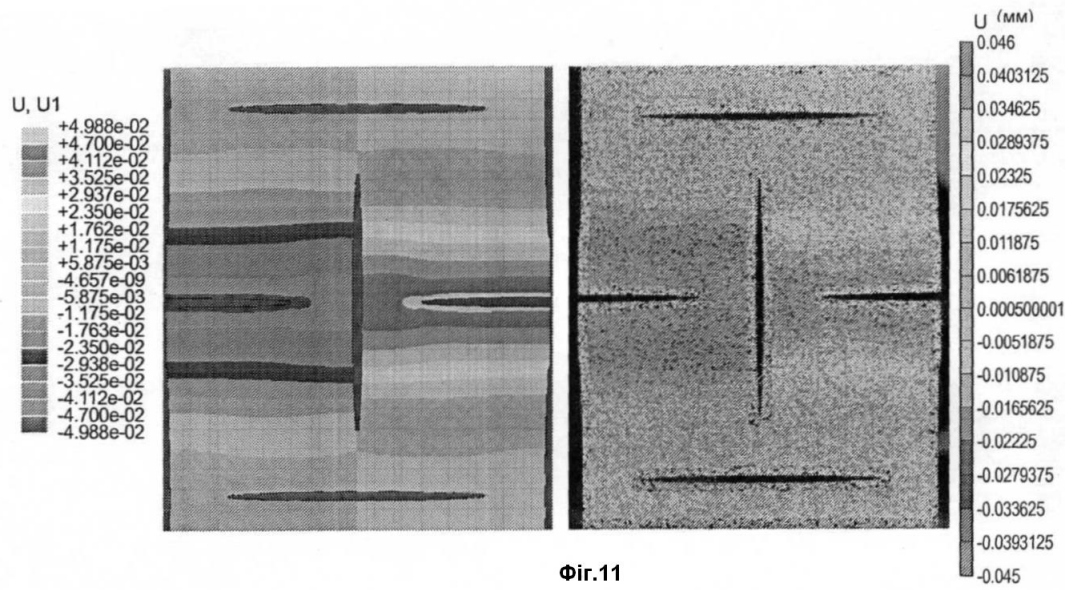
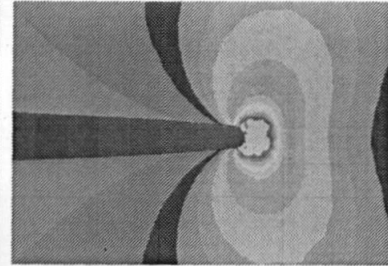
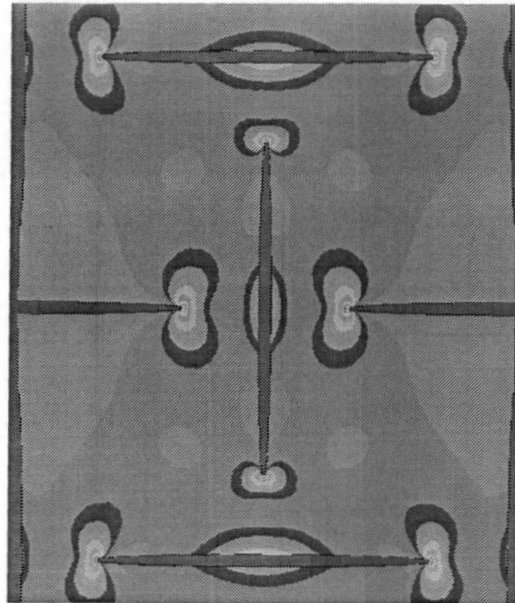


Fig. 10(b)



S, Mises
(Avg: 75%)

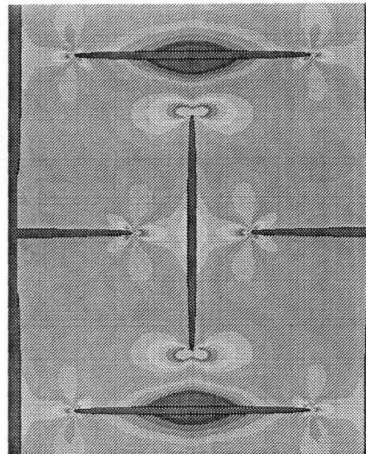
+3.131e+02
+2.750e+02
+2.578e+02
+2.406e+02
+2.234e+02
+2.063e+02
+1.891e+02
+1.719e+02
+1.547e+02
+1.375e+02
+1.203e+02
+1.031e+02
+8.594e+01
+6.876e+01
+5.157e+01
+3.438e+01
+1.719e+01
+7.133e-03



Φir.13

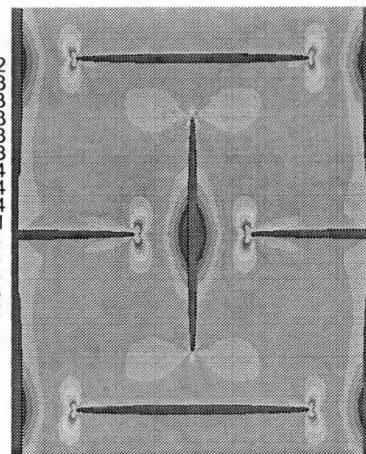
E, E11
(Avg: 75%)

+1.989e-02
+1.000e-03
+8.333e-04
+6.667e-04
+5.000e-04
+3.333e-04
+1.667e-04
+8.731e-11
-1.667e-04
-3.333e-04
-5.000e-04
-6.667e-04
-8.333e-04
-1.000e-03
-2.111e-02



E, E22
(Avg: 75%)

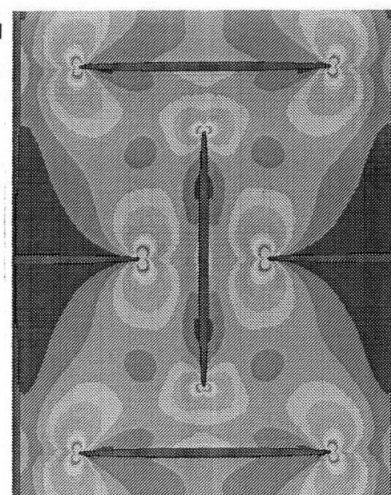
+3.752e-02
+2.000e-03
+1.750e-03
+1.500e-03
+1.250e-03
+1.000e-03
+7.500e-04
+5.000e-04
+2.500e-04
+5.821e-11
-2.500e-04
-5.000e-04
-7.500e-04
-1.000e-03
-1.058e-02



Φir.14

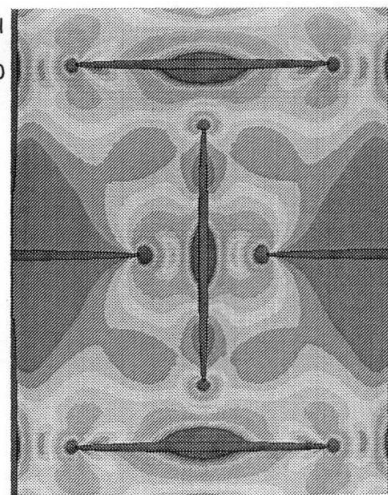
E, Max. Principal
(Avg: 75%)

+3.804e-02
+2.000e-03
+1.825e-03
+1.650e-03
+1.475e-03
+1.300e-03
+1.125e-03
+9.500e-04
+7.750e-04
+6.000e-04
+4.250e-04
+2.500e-04
+7.500e-05
-1.000e-04

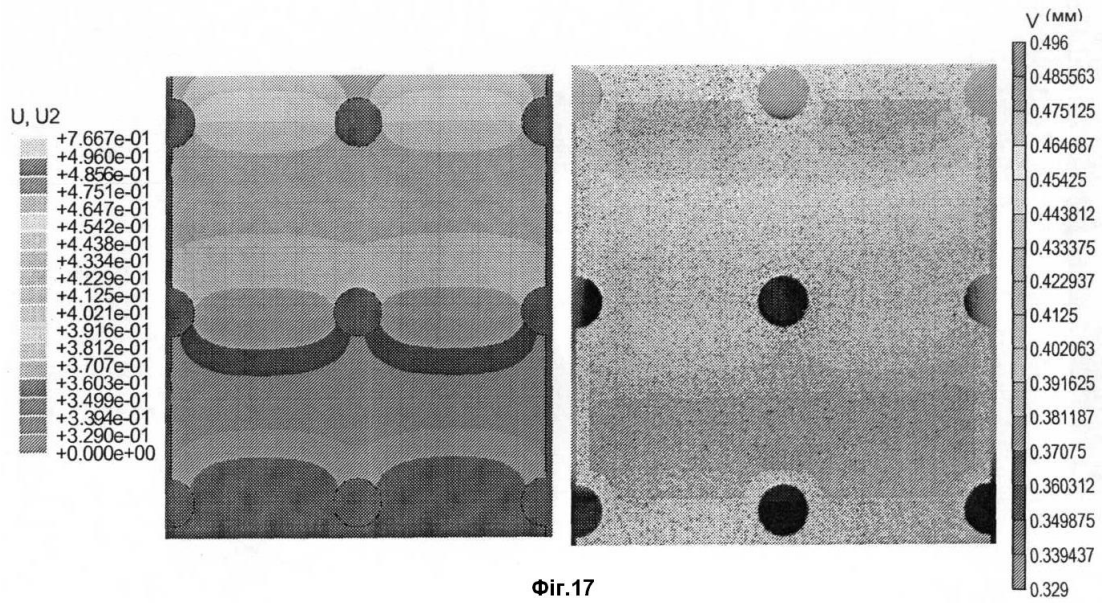
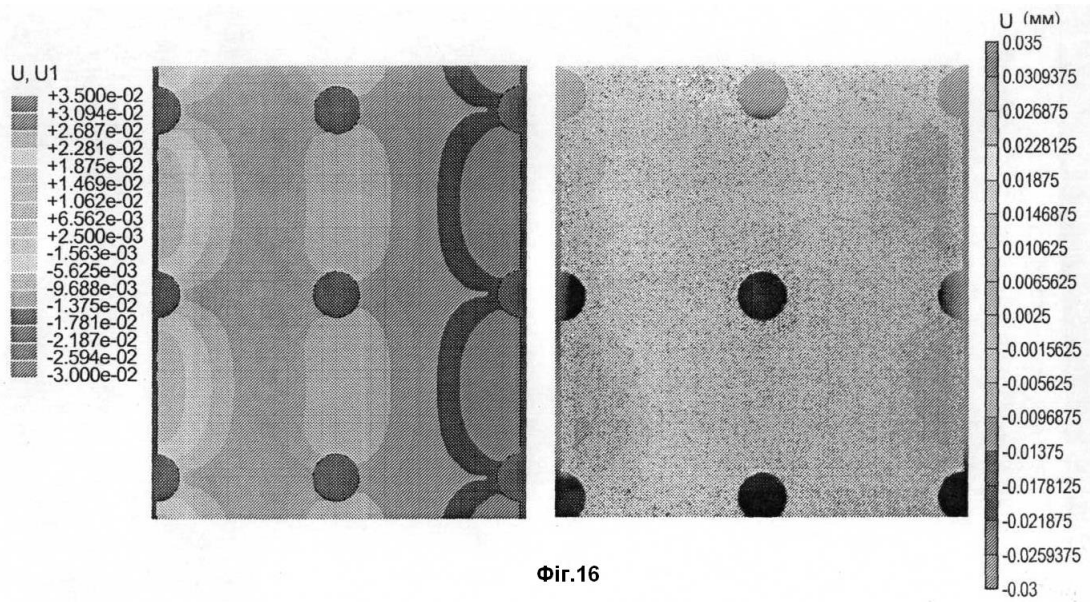


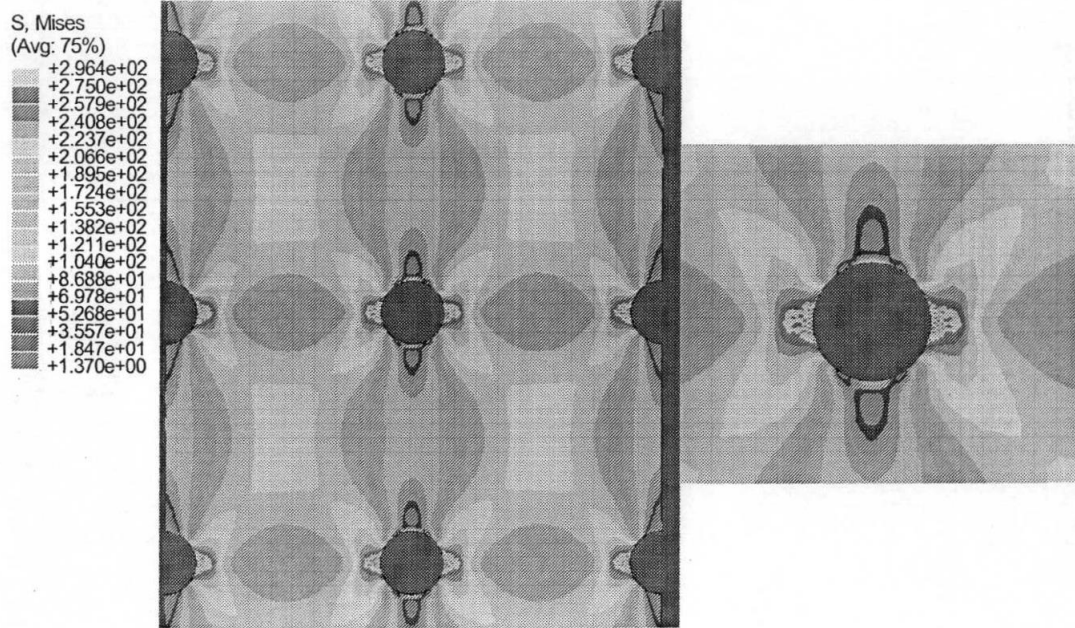
E, Min. Principal
(Avg: 75%)

+0.000e+00
-8.333e-05
-1.667e-04
-2.500e-04
-3.333e-04
-4.167e-04
-5.000e-04
-5.833e-04
-6.667e-04
-7.500e-04
-8.333e-04
-9.167e-04
-1.000e-03
-2.189e-02

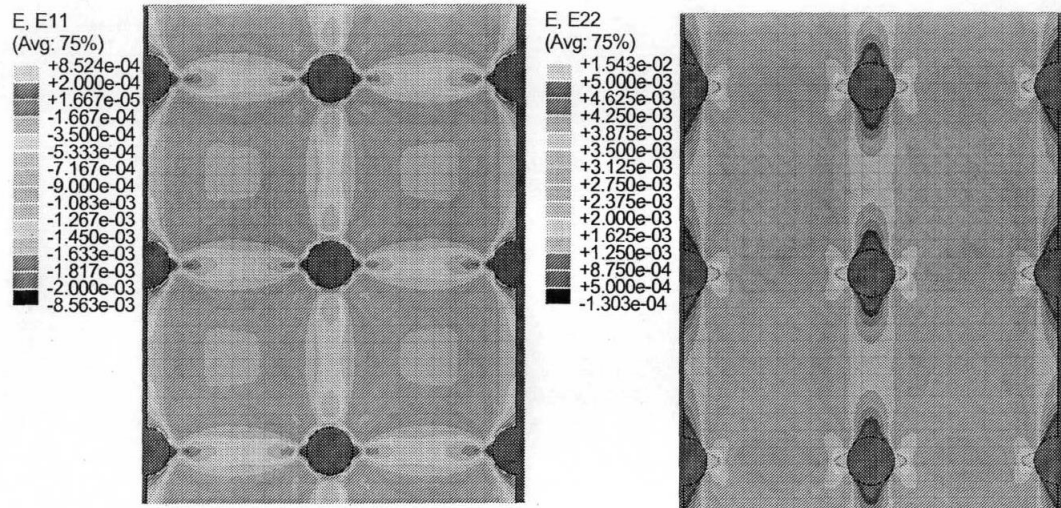


Φir.15

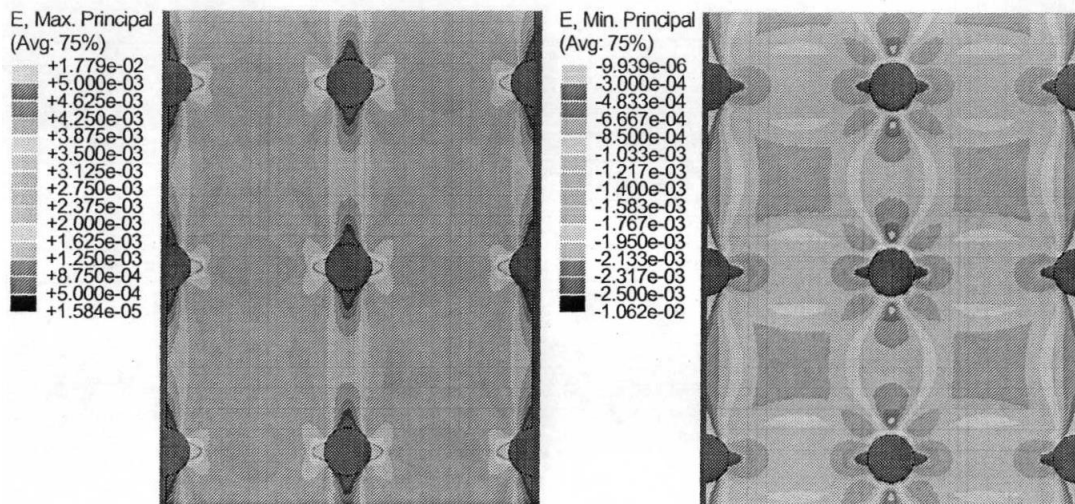




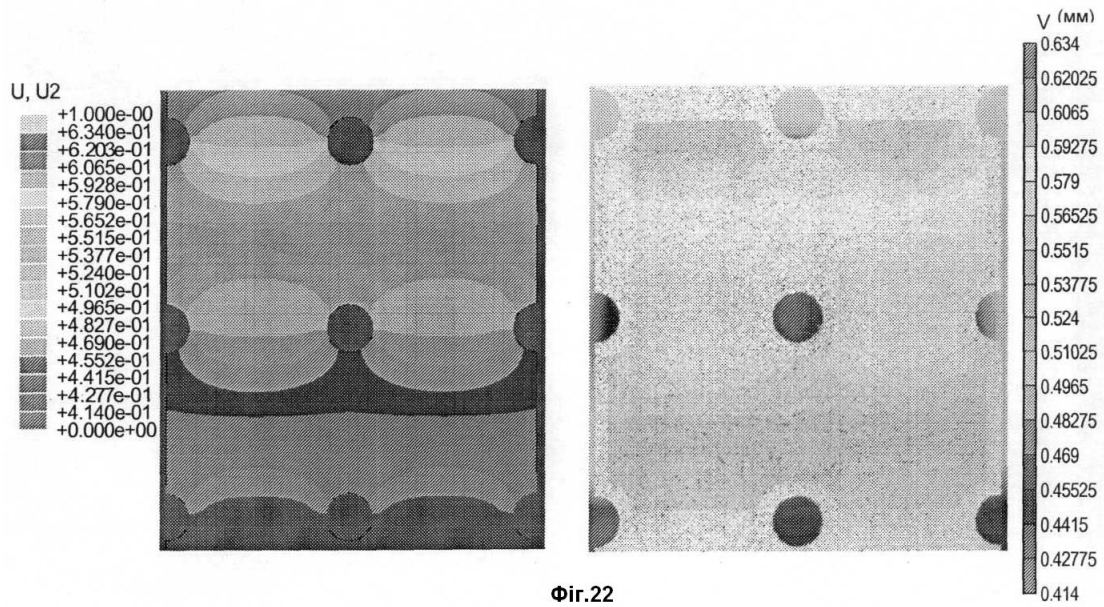
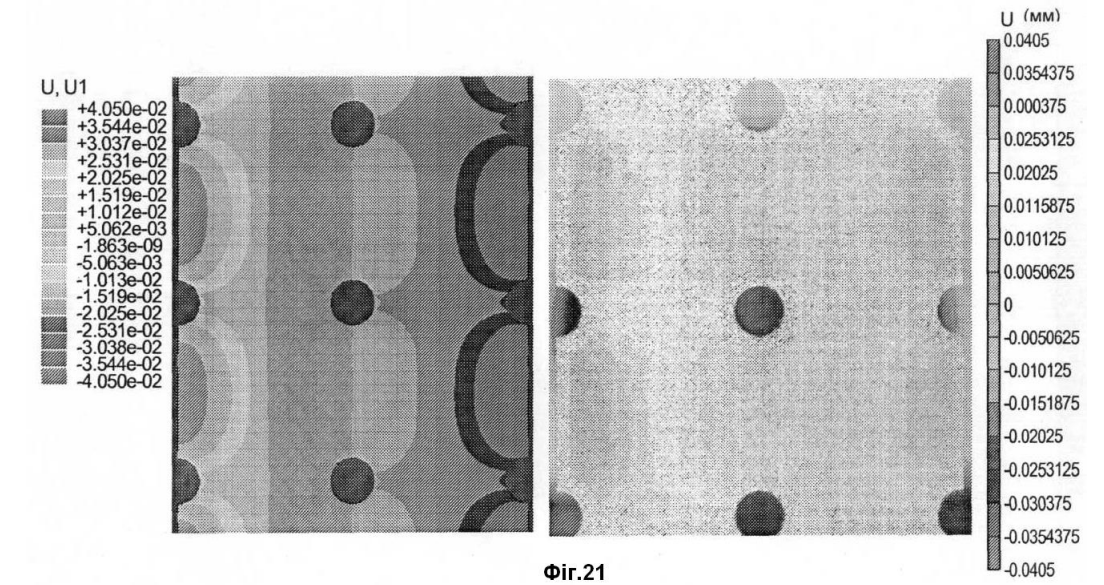
Φir.18



Φir.19

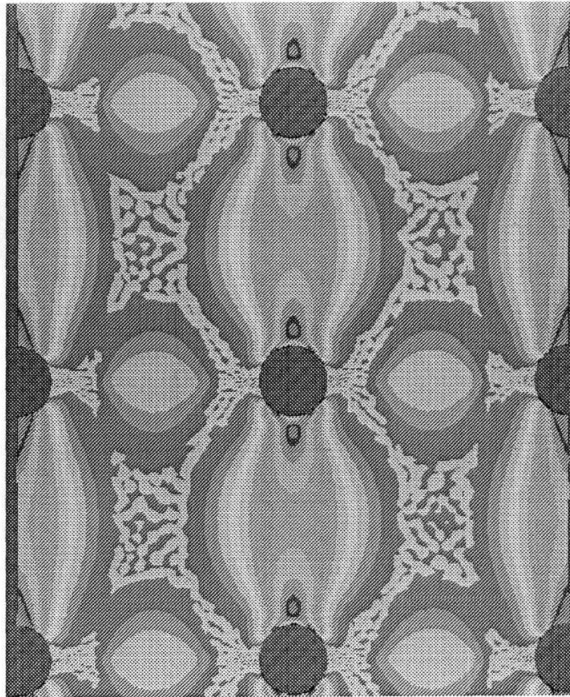


Φir.20



S, Mises
(Avg: 75%)

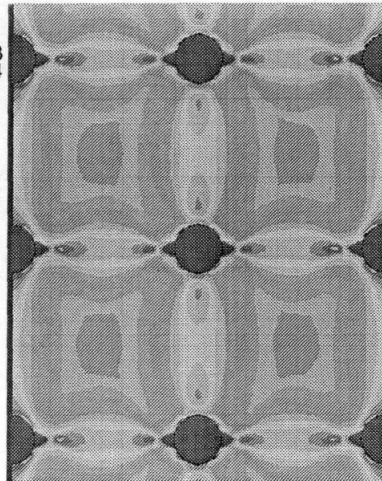
+3.542e+02
+2.750e+02
+2.578e+02
+2.406e+02
+2.234e+02
+2.063e+02
+1.891e+02
+1.719e+02
+1.547e+02
+1.375e+02
+1.203e+02
+1.031e+02
+8.594e+01
+6.875e+01
+5.156e+01
+3.438e+01
+1.719e+01
+0.000e+00



Φir.23

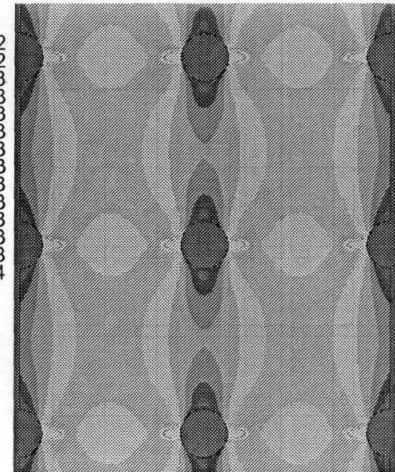
E, E11
(Avg: 75%)

+1.095e-03
+2.000e-04
-2.500e-05
-2.500e-04
-4.750e-04
-7.000e-04
-9.250e-04
-1.150e-03
-1.375e-03
-1.600e-03
-1.825e-03
-2.050e-03
-2.275e-03
-2.500e-03
-6.924e-02



E, E22
(Avg: 75%)

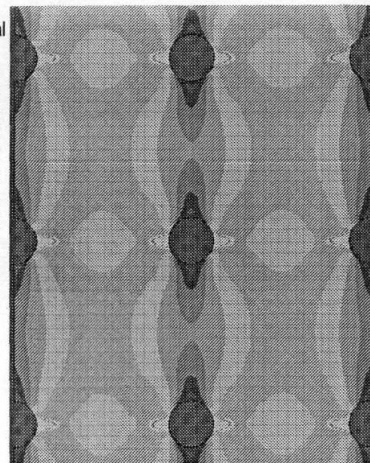
+6.265e-02
+1.000e-02
+9.208e-03
+8.417e-03
+7.625e-03
+6.833e-03
+6.042e-03
+5.250e-03
+4.458e-03
+3.667e-03
+2.875e-03
+2.083e-03
+1.292e-03
+5.000e-04
-1.477e-04



Φir.24

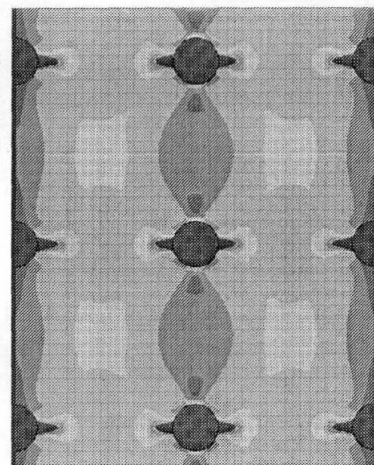
E, Max. Principal
(Avg: 75%)

+8.266e-02
+1.000e-02
+9.208e-03
+8.417e-03
+7.625e-03
+6.833e-03
+6.042e-03
+5.250e-03
+4.458e-03
+3.667e-03
+2.875e-03
+2.083e-03
+1.292e-03
+5.000e-04
+1.249e-05

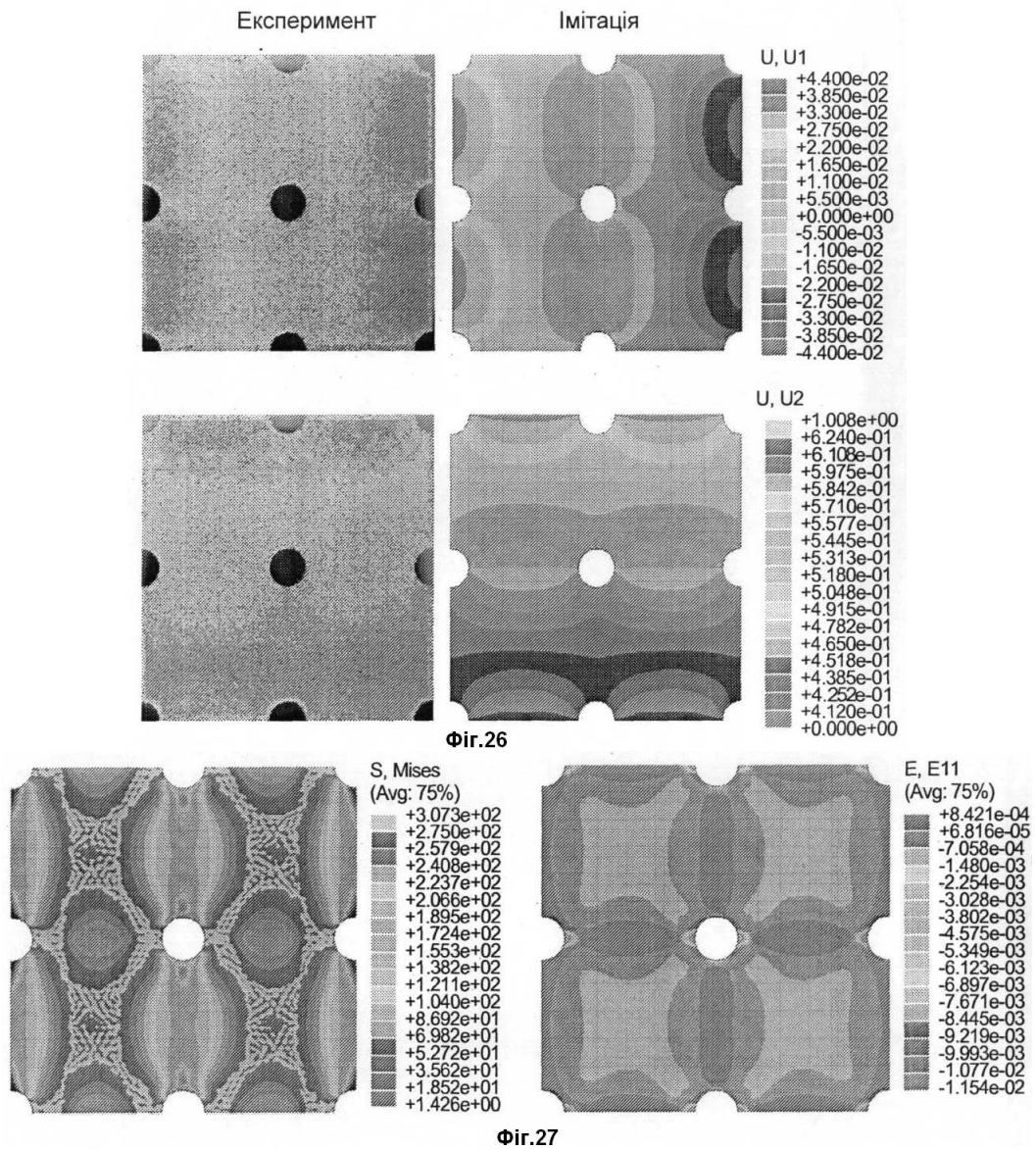


E, Min. Principal
(Avg: 75%)

+0.000e+00
-5.833e-04
-1.167e-03
-1.750e-03
-2.333e-03
-2.917e-03
-3.500e-03
-4.083e-03
-4.667e-03
-5.250e-03
-5.833e-03
-6.417e-03
-7.000e-03
-4.764e-02

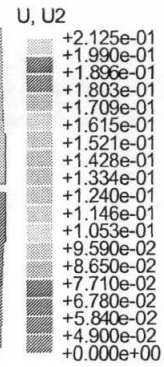
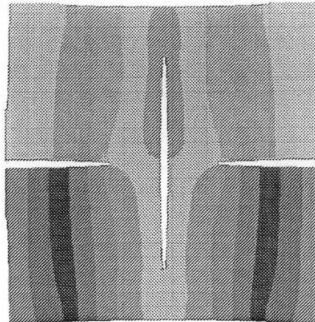
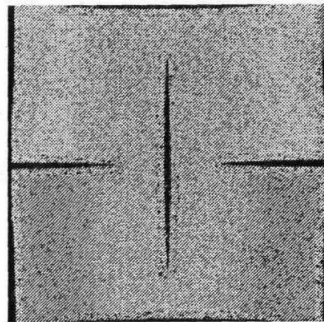
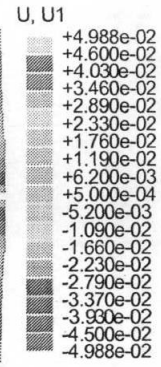
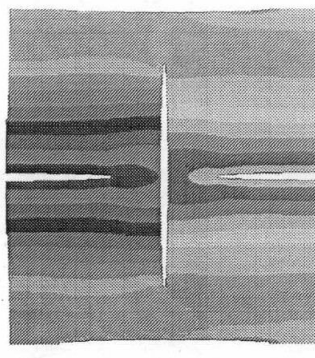
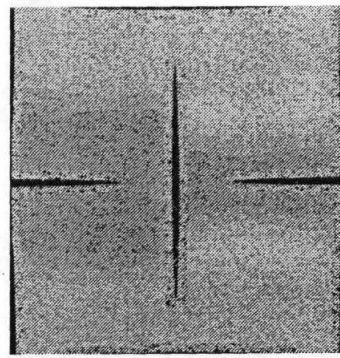


Φir.25

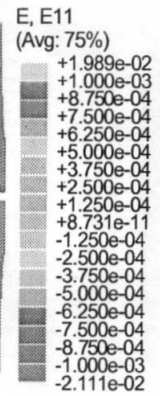
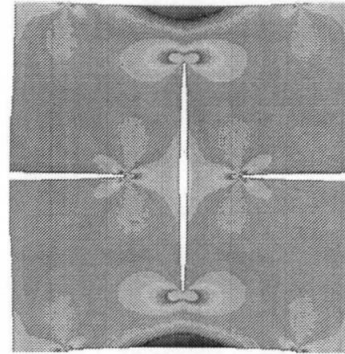
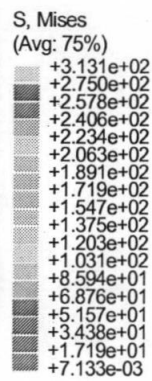
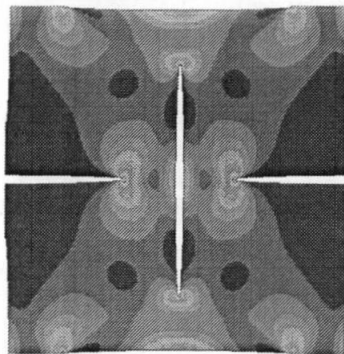


Експеримент

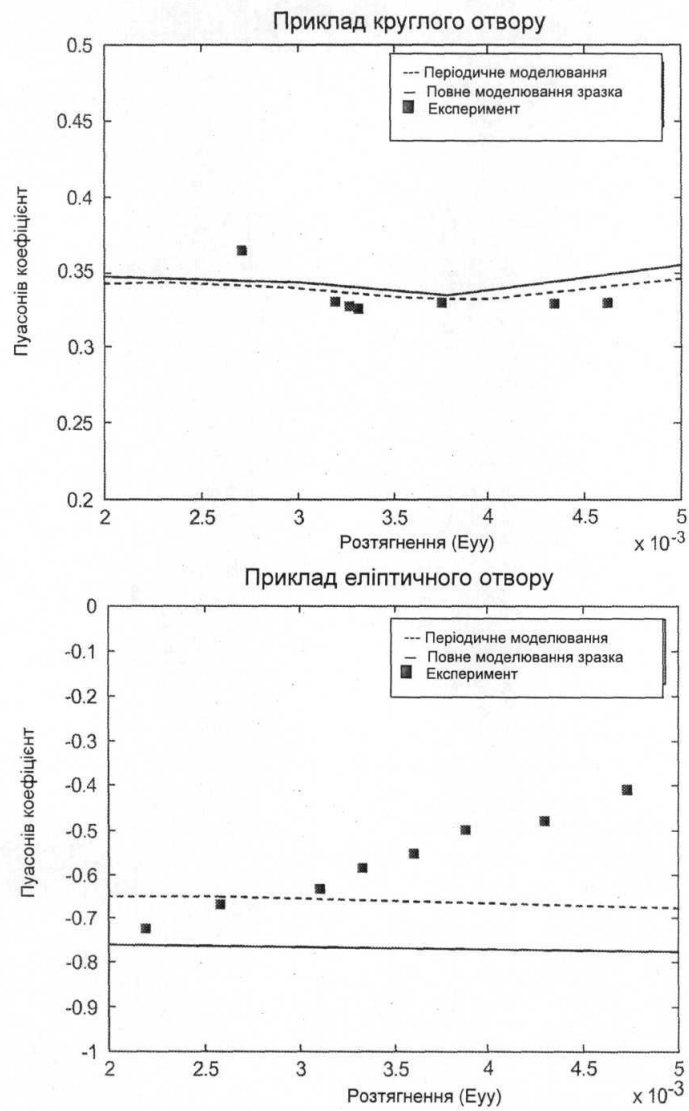
Імітація



Фиг.28



Фиг.29



Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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