



УКРАЇНА

(19) **UA**
(51) МПК(11) **124471**(13) **C2**

B64B 1/58 (2006.01)
B32B 5/02 (2006.01)
B32B 7/04 (2019.01)
B32B 7/12 (2006.01)
B32B 27/06 (2006.01)
B32B 27/08 (2006.01)
B32B 27/12 (2006.01)
B32B 27/28 (2006.01)
B32B 27/30 (2006.01)
B32B 27/36 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

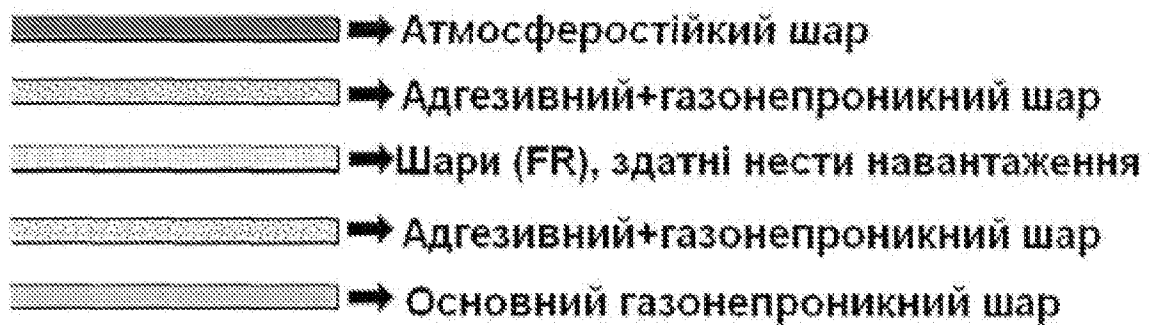
(21) Номер заявки:	а 2019 04960	(72) Винахідник(и):	Вестергор Франнсен Міккель (US),
(22) Дата подання заявки:	23.10.2017		Кім Дейвід (US),
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	23.09.2021		Бредфорд Філіп Дейвід (US),
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	62/411,764		Сеям Абдель-Фаттах Мохамед (US),
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	24.10.2016	(73) Володілець (володільці):	СЕІ СА,
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку:	US		Place Saint-Francois 1, 1003 Lausanne,
(41) Публікація відомостей про заявку:	27.08.2019, Бюл.№ 16	(74) Представник:	Крилова Надія Іванівна, реєстр. №30
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	22.09.2021, Бюл.№ 38	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	US 2009042037 A1, 12.02.2009
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	PCT/EP2017/077009, 23.10.2017		US 2007128963 A1, 07.06.2007
			UA 102997 C2, 10.09.2013

(54) ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ З КОРПУСОМ, ШАРУВАТИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ ТАКОГО КОРПУСУ І СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА ТАКОГО ШАРУВАТОГО МАТЕРІАЛУ

(57) Реферат:

Літальний апарат з корпусом з шаруватого матеріалу із армуючим волокнистим шаром, наприклад Zylon®, та першою і, необов'язково, другою плівкою етиленвінілового спирту, з'єднану в розплаві з волокнистим шаром. Атмосферостійкий шар захищає волокна від старіння від ультрафіолетового випромінювання.

UA 124471 C2



Фіг. 1

Область техніки

Винахід стосується літального апарата з корпусом, шаруватого матеріалу для такого корпусу і способу виробництва такого шаруватого матеріалу. Зокрема, це стосується багатофункціонального шаруватому матеріалу із шаром армуючого волокна і газонепроникної плівкою.

Рівень техніки

Літальні апарати мають гнучкий корпус, заповнений газом, зазвичай гелієм. У разі, якщо літальний апарат не має внутрішнього структурованого каркаса, його також називають "дирижаблем", в якому форма, зазвичай, подовжена, підтримується внутрішнім тиском. Корпус має бути з шаруватого матеріалу, який є досить стабільним, щоб не луснути, і який також є газонепроникним, зазвичай для гелію, Не, у корпусі.

Матеріал корпусу для висотних літальних апаратів має відповідати ряду вимог. Він має бути легким і в той же час забезпечувати механічну міцність. Він повинен хімічно протистояти агресивній атмосфері на великій висоті, особливо вмісту озону в повітрі. Він також має бути стійким до ультрафіолетового випромінювання і бути стабільним і гнучким при високій і низькій температурі. Хоча відомі матеріали для забезпечення кожної з цих вимог, необхідність їх поєднання створює серйозну проблему при розробці матеріалів для такого корпусу.

В патенті США № 7354366, виданому Лаван і інші, (Lavan et. al), що належить корпорації Локхід Мартін (Lockheed Martin), описано шаруватий матеріал із шаром рідкокристалічного полімерного волокна, наприклад, типу Vectran®, шаром полііміду (PI), прикріпленого до шару рідкокристалічного полімерного волокна; і шаром полівініліденфториду (PVDF), прикріпленого до шару полііміду (PI). Шари з'єднані між собою поліуретановим (PU) клеєм. Сусідні шаруваті матеріали можуть бути прикріплені один до одного з допомогою покривної стрічки PVDF на зовнішніх поверхнях і структурної стрічки на внутрішніх поверхнях. Структурна стрічка включає шар рідкокристалічного полімерного волокна і шар PI для забезпечення цілісності літального апарата. Альтернативний матеріал може включати шар рідкокристалічного полімерного волокна і шар PVDF, розташований по обидва боки шару рідкокристалічного полімерного волокна. Вага становить близько 5 унцій на квадратний ярд (170 грам/квадратний метр). Міцність на розрив становить близько 240 фунтів на дюйм, що відповідає 420 Н/см.

Оскільки вантажопідйомність безпосередньо пов'язана з вагою корпусу, було б бажано зменшити вагу, при збереженні або навіть збільшенні міцності.

Краще відношення ваги до міцності описано в статті "Опір розтягуванню вискоефективного матеріалу зовнішньої оболонки дирижабля" ("Tear propagation of a High-performance Airship Envelope Material" published by Maekawa and Yoshino in Journal of Aircraft Vol. 45, No. 5, Sept-Oct. 2008). Описаний матеріал має вагу 157 г/м² і розривну міцність 997 Н/см. Шаруватий матеріал має волокно марки Zylon® в якості основи. Zylon® є торговою маркою корпорації Toyobo Corporation для жорсткострижневого ліотропічного рідиннокристалічного полімеру. Точніше, він є затверділо-стрижневим рідинно-кристалічним поліоксазолом, полі (п-фенілен-2,6-бензобісоксазол), який також називають PBO.

Zylon® (PBO) має високу питому міцність у порівнянні з іншими комерційно доступними вискоефективними волокнами. Нитки Zylon® також мають високий опір поширенню повзучості і є тому корисними для волокнистої арматури (FR) в шаруватому матеріалі. Але, PBO також відоме, як таке, що є дуже піддається старінню під дією не тільки ультрафіолетового світла (UV), але також і видимого світла. Було знайдено, що присутність води і кисню прискорює старіння під дією світла. Тому, незважаючи на очевидні переваги з точки зору високої міцності і низької повзучості, інші виклики мають місце при використанні цього волокнистого матеріалу для стратосферних дирижаблів.

Інший матеріал для корпусу описаний в патенті США US 6074722, Кусіас та інші (by Cuccias et al.), що належить Локхід Мартін (Lockheed Martin), в якому шаруватий матеріал виконаний з волокнистого шару, ламінованого до матеріалу пластичної смоли. Волокнистий шар є або тканим матеріалом, або багатошаровим однонаправленим ниткоподібним матеріалом. Шаруваті матеріали з тканими волокнами для дирижаблів також розкриті в патенті США US 7713890, Вогт та інші (Vogt et. al.), що належить компанії Milliken & Company. Інтеграція електронних компонентів в шар корпусу розкрита в патенті США US 8152093, Ліггетт і інші (Liggett et. al), що належить корпорації Lockheed Martin.

Різні матеріали для корпусу обговорюються в статті "Випробування матеріалів для конструкцій, які легше повітря, при застосуванні на великій висоті" ("Material challenges for Lighter-Than-Air Systems in High Altitude Applications" by Zhai and Euler, published by the American Institute of Aeronautics and Astronautics at the AIAA 5th Aviation, Technology, Integration, and Operations Conference (ATIO) 26-28 Sept. 2005, Arlington California). У даній статті розглядаються

різні матеріали для балонетів легше, ніж повітря, зокрема шар газонепроникного матеріалу, а також тканий структурний шар, здатний нести навантаження, з покращеним показником навантаження/напруга. Ці шари скріплені один з одним клейким шаром. Клейове з'єднання описано з посиланням на поліуретан, епоксид та акрил. Щодо газонепроникного шару, то в статті вказується на низьку температурну гнучкість як найважливішого параметра серед різних бажаних властивостей, що також включає низьку газопроникність, мінімальну вагу, хорошу зв'язуваність, стійкість до стирання та стійкість до озону. У таблиці 5 цієї статті сополімер етиленвінілового спирту (EVON) згадується як такий, що має низьку гнучкість при низькій температурі, що вказує на те, що EVON не є придатним як балонетний або корпусний матеріал для дирижаблів легше повітрям при низьких температурах, які зазвичай знаходяться на великій висоті. З цієї очевидної причини в даній статті згадуються замість поліолефіну, поліуретану, етиленпропілен дієн мономер (EPDM) смола і силіконова смола, як найбільш перспективні полімерні матеріали для газонепроникного шару.

Хоча стаття Чжая і Ейлера (Zhai and Euler) свідчить про те, що EVON не є корисним для висотних дирижаблів, результати свідчать, що EVON є корисним при використанні в шаруватому матеріалі, типу сендвич, разом з поліуретанами, які також розглядаються як перспективний матеріал у вищевказаній статті. У цьому відношенні робиться посилання на брошуру Eval Europe NV, дочірньої компанії Kuraray Co. Ltd., яку можна знайти на сайті <http://eval-americas.com/media/15453/eval%20industrial%20application.pdf>. У цій брошурі згадується велика гнучкість і відмінна газонепроникність на додаток до придатності при холодних атмосферних умовах для співекструдованої структури плівки, де EVON смола (Eval TM) затиснута між шарами термопластичного поліуретану (TPU), при цьому, шаруватий матеріал коротко описаний як TPU / Eval TM/TPU. Один із запропонованих варіантів використання цієї сендвич-плівки є матеріалом для стратосферних дирижаблів. В цій брошурі вказується на те, що прошарування EVON між двома плівками TPU долає недолік поганої низькотемпературної гнучкості самої EVON плівки. Однак, для легкого матеріалу корпусу, який є необхідним для забезпечення підйомної вантажопідйомності дирижаблів, прошарування EVON між шарами TPU додає вагу корпусу без оптимізації міцності кінцевого матеріалу корпусу.

Таким чином, зрозуміло, що оптимальне рішення для матеріалу корпусу ще не знайдено. На закінчення, можна сказати, що, хоча в попередньому рівні техніки є численні пропозиції для матеріалу корпусу дирижаблів, все ще існує постійна потреба в його поліпшенні та оптимізації.

Опис/Суть винаходу

Таким чином, метою винаходу є покращення існуючих в даній області рішень. Ще однією метою є створення більш легкого літального апарату з покращеним корпусом. Зокрема, покращений корпус з шаруватого матеріалу оптимізують по показнику вага/ міцність, а також мінімізують газопроникність. Ці цілі досягають для літального апарату з корпусом, який складається з шаруватого матеріалу, що більш докладно описаного нижче.

У тексті використовуються такі скорочення:

урі (нитки на дюйм), 1 дюйм = 2,54 см, 1 урі = 1/(2,54) ниток на см

трі (круток на дюйм); tpm (круток на метр); 1 tpi=39 tpm

gsm (грам на квадратний метр)

sqm (квадратний метр)

UV-Vis - атмосферостійкість - погіршення властивостей під впливом UV (ультрафіолетового)-випромінювання і/або видимого світла.

Шаруватий матеріал корпусу є газонепроникним і слугує конструкцією, здатною нести навантаження, причому шаруватий матеріал містить шар армуючого волокна і першу плівку етиленвінілового спирту (Ethylene Vinyl Alcohol), EVON, яка з'єднана в розплаві з волокнистим шаром на одному боці волокнистого шару, причому, EVON знаходиться в прямому контакті з шаром армуючого волокна.

Під терміном "прямий контакт" мається на увазі, що між шаром EVON і волокнистим шаром не розташований шар іншого матеріалу. Зокрема, плівка EVON не надається як частина композитної плівки, де EVON поміщається між двома шарами TPU до його зв'язування в розплаві з волокнистим шаром.

Необов'язково, шаруватий матеріал містить другу плівку EVON, з'єднану в розплаві з волокнистим шаром на протилежному боці волокнистого шару, причому, EVON другої плівки EVON знаходиться в прямому контакті з шаром армуючого волокна. У цьому випадку шар армуючого волокна поміщають між першою і другою плівкою, виготовленої з етиленвінілового спирту, EVON, який вплавається в волокнистий шар з обох боків.

EVON має дуже низьку газопроникність для гелію, що дуже корисно. Він стійкий до ультрафіолетового випромінювання і озону. Крім того, він є термозварювальним. З

попереднього рівня техніки відомо, що погана гнучкість при низьких температурах експериментально не була підтверджена як проблема при використанні окремо або при використанні в шаруватих матеріалах, які мали EVON як газонепроникний шар.

Для матеріалу корпусу перша плівка EVON, з'єднана в розплаві на, щонайменше, частково у волокнистому шарі з одного боку, і, необов'язково, друга плівка EVON, з'єднана в розплаві на і, щонайменше, частково у волокнистому шарі з протилежного боку волокнистого шару. Таке з'єднання в розплаві досягається шляхом теплового пресування шарів разом. Наприклад, прийнятною є температура в діапазоні 175-180° С. У шаруватому матеріалі, як описано в наступних параграфах, плівка EVON не тільки служить адгезивом для з'єднання шарів один з одним, але також діє як газонепроникний матеріал. Таким чином, він є багатофункціональним шаром.

Для забезпечення високої міцності і легкої ваги шару армуючого волокна (FR) хорошим матеріалом є рідкокристалічні волокна, наприклад, Полі [п-фенілен-2,6-бензобісоксазол], PBO. Такі волокна продаються як волокна марки Zylon®, як вже, було зазначено у вступній частині.

Щоб оптимізувати міцність і/або однорідність, в деяких випадках доцільно включати щонайменше одне з кручених волокон, каліброваних волокон і волокон, які є і каліброваними, і крученими. Необов'язково, калібровані волокна допомагають додатково з'єднанню між шарами, особливо якщо калібрований матеріал сумісний з адгезивним шаром. Прикладами каліброваного матеріалу є певні PVA (полівінілацетатні) волокна Інший приклад - волокна, що продаються під торговою маркою Exceval. Наприклад, просочення волокон досягається нанесенням матеріалу проклеювання як заолівлюючого матеріалу на волокна.

Відповідним проклеювальним матеріалом є полівініловий спирт. Такий матеріал є доступним по вартості, наприклад, від японської компанії Kuraray® Co, Ltd. Гідрофобно модифікований полівініловий спирт під торговою маркою Exceval™ від Kuraray® також було використано в експерименті і отримано гарні результати. Такі проклеювальні матеріали на основі полівінілового спирту є високоеластичними хімічно стійкими і одночасно сумісними з EVON. Експериментально було показано, що полівініловий спирт підсилює нитки марки Zylon®. Він також забезпечує кращу адгезію між волокном і плівкою EVON.

Наприклад, перша сукупність волокон у волокнистому шарі, необов'язково рідкокристалічні волокна, є скрученими, тоді як друга сукупність волокон у волокнистому шарі, необов'язково рідкокристалічні волокна, не є скрученими.

У деяких варіантах здійснення два набори волокон розташовують в різних напрямках. Наприклад, перша сукупність волокон, орієнтованих в першому напрямку, є скрученими, а друга сукупність волокон, орієнтованих у другому напрямку, не є скрученими. Наприклад, перший і другий напрямки мають кут між собою, щонайменше, 30, наприклад, 45°, не обов'язково, перпендикулярні між собою. Хороші результати були досягнуті при використанні кручених волокон, які мають скручення від 30 до 50 круток на метр.

Як рівноважні, так і нерівноважні волокнисті шари є потенційно корисними. У деяких варіантах здійснення волокон в другій сукупності мають товщину, щонайменше, в два рази більшу, ніж у першій сукупності волокон. У деяких варіантах здійснення перша сукупність волокон має першу щільність ниток, а друга сукупність волокон має другу щільність ниток, яка відрізняється від першої щільності ниток щонайменше в два рази.

Для літального апарата, де вага має вирішальне значення, експериментальні результати були отримані для волокнистого шару з вагою 40-70 г/м².

Наприклад, товщина шару EVON становить 10-20 мкм.

Переважно, шаруватий матеріал містить багатофункціональний атмосферостійкий шар, з'єднаний в розплаві з першим шаром EVON, причому атмосферостійкий шар містить металізовану полімерну плівку, що має один металевий шар тільки на одному боці або, альтернативно, на обох боках полімерної плівки. В разі, коли атмосферостійкий шар має тільки один металевий шар, він переважно орієнтований металевим шаром в напрямку шару EVON і з'єднаний в розплаві з першим шаром плівки EVON. Таким чином, він захищений, наприклад, спрямованим назовні, полімером, наприклад, поліімідом, атмосферостійкого шару. Такий атмосферостійкий шар повинен захищати корпус від реактивного озону та інших хімічних впливів, а також захищати шар армуючого волокна від ультрафіолетового випромінювання. Як вже говорилося, PBO, наприклад, Zylon®, дуже швидко старіє в ультрафіолетовому світлі. Крім того, він функціонує як додатковий газовий бар'єр. Хорошим кандидатом на полімер в атмосферостійкому шарі є поліімід (PI). Прикладом альтернативного матеріалу для цієї мети є полівінілфторид (PVF). Наприклад, товщина атмосферостійкого шару становить 10-20 мкм.

Відзначено, що направлений назовні полімерний шар також корисний для створення сильного блиску між сусідніми шаруватими матеріалами.

Хоча EVON є добрим газонепроникним матеріалом, газонепроникність може бути поліпшена шляхом додавання металізованого газонепроникного шару до шаруватого матеріалу на внутрішньому боці корпусу, який протилежний атмосферостійкому шару. Для цього металізований газонепроникний шар, необов'язково, з'єднують в розплаві з другої плівкою EVON. Кандидатом на отримання шару металізованої полімерної плівки є поліетилентерефталат (PET), наприклад, шар PET товщиною 4-8 мкм.

В експериментах було показано, і буде також більш детально описано нижче, що газонепроникний і стабільний шаруватий матеріал може бути виготовлений вагою в діапазоні 90-110 г/м². Наприклад, експериментально було знайдено, що відношення міцності на розрив до ваги шаруватого матеріалу перевищує 890 кНм/кг.

У деяких варіантах здійснення волокнистий шар являє собою тканий шар з основою і утком. Для подовжених дирижаблів необхідно, щоб міцність в поперечному напрямку корпусу була вище, ніж в поздовжньому напрямку. Відповідно, основа і уток, необов'язково, мають нитки різної товщини і/або щільності. При використанні негофрованого волокнистого шару він складається з множини шарів з односпрямованим нитками, причому різні шари мають різні напрямки ниток, наприклад перпендикулярні напрямку. Також в цьому випадку нитки в одному напрямку переважно товщі і/або більш щільні, ніж у другому напрямку, щоб оптимізувати міцність без додавання зайвої ваги.

Було знайдено, що як рівноважні, так і нерівноважні структури були корисні. Вибір рівноважних або нерівноважних структур залежить від мети. Наприклад, може бути бажана більш висока міцність в одному напрямку в порівнянні з іншим. Це має відношення до стабільності форми корпусу, а також до мінімізації ваги, оскільки нерівноважні структури зазвичай мають більш високий потенціал для оптимізованих співвідношень міцності/ вага, оскільки видно, що зусилля, що діють на тканини через подовжену форму корпусу відрізняється в поздовжньому і поперечному напрямку.

Як впливає з вищесказаного, шаруватий матеріал включає множини шарів, комбінація яких є багатофункціональною. Функціональність включає захист від ультрафіолетового випромінювання, видимого світла, озону, синглетного кисню і тепла. Найбільш зовнішній шар також забезпечує управління температурою, завдяки низькій випромінювальній здатності.

Для діапазонів між першою і другою величиною, перша і друга величини необов'язково включені.

Короткий опис креслень

Винахід буде пояснено більш детально з посиланням на креслення, де Фіг. 1 ілюструє принципову схему шаруватого матеріалу корпусу; Фіг. 2 ілюструє альтернативний принциповий зразок шаруватого матеріалу корпусу; Фіг. 3 ілюструє шар армуючого волокна (FR) а) негнучкий двохнитковий поперечно плетений б) тканий; в) негнучкий трьохнитковий;

Фіг. 4. Зразок P3, а) схематичний дизайн і б) фотографії зовнішнього боку і внутрішнього;

Фіг. 5. Зразок P4, а) схематичний дизайн і б) фотографії зовнішнього боку і внутрішнього.

Фіг. 6. Зразок P9, а) схематичний дизайн і б) фотографії зовнішнього боку і внутрішнього;

Фіг. 7. Зразок P10, а) схематичний дизайн і б) фотографії зовнішнього боку і внутрішнього;

Фіг. 8. Порівняння міцності і ваги нових зразків шаруватого матеріалу і шаруватих матеріалів, розроблених в інших дослідженнях;

Фіг. 9. Порівняння відношення міцності до ваги нових зразків шаруватого матеріалу і шаруватих матеріалів, розроблених в інших дослідженнях;

Фіг. 10. Порівняння міцності на розрив дослідних зразків до і після термічної дії і прискореному UV-Vis старінні;

Фіг. 11. Втрата міцності після термічної дії і прискореного UV-Vis старіння;

Фіг. 12. Принципова схема зразка з вузьким розрізом;

Фіг. 13. Крива подовження під навантаженням зразка P4, під дією постійного навантаження 1250 Н;

Фіг. 14. Зразок P12, схематичний дизайн;

Фіг. 15. Зразок P13, схематичний дизайн;

Фіг. 16. Зразок P14, схематичний дизайн;

Фіг. 17 ілюструє вимірювання на диференціальному аналізаторі рухомості (DMA), виконані для а) плівки EVON, б) плівки майлар (Mylar), в) плівки PI, г) основи зразка P4.

Детальний опис/Кращий варіант здійснення

Для створення тонкого і легкого шаруватого матеріалу для корпусу, який в той же час є газонепроникним, стійким до ультрафіолетового випромінювання, термостійким і хімічно стійким, особливо до синглетного кисню і озону, була використана наступна базова схема, яка як приклад показана на Фіг. 1. Волокнистий армуючий (FR) шар, здатний нести навантаження,

затиснутий між двома адгезивними шарами, які використовуються для з'єднання FR з іншими шарами, наприклад, із зовнішнім шаром корпусу, далі званому атмосферостійким шаром, і з потенційним внутрішнім шаром корпусу, в якості газонепроникного шару для корпусу. Зокрема, адгезивні шари виконані у вигляді ефективних газопроникних шарів. Наприклад, адгезивні шари є основними газонепроникними шарами, так що загальна газопроникність адгезивних шарів менше, ніж газопроникність інших шарів. Таке поєднання функцій адгезії і низької газопроникності є нетрадиційним. На відміну від цього, в попередньому рівні техніки існують конкретні основні газонепроникні шари, що відрізняються від адгезивних шарів, де основні газонепроникні шари мають більш низьку газопроникність, ніж адгезивні шари. У цьому контексті газопроникність стосується газу всередині корпусу, зазвичай це газу гелію або водню.

Як приклад, більш докладно проілюстрованого на Фіг. 1, волокнистий шар, здатний нести навантаження, розташований між двома шарами EVON, які не тільки працюють як газонепроникні, але також використовуються, щоб взяти на себе роль адгезиву для потенційних додаткових шарів, особливо для зовнішнього шару корпусу, далі званому атмосферостійким шаром, і для потенційного внутрішнього шару корпусу як додаткового газонепроникного шару. Іншими функціями шарів, особливо атмосферостійкого шару, є захист від ультрафіолетового випромінювання, видимого світла, озону, синглетного кисню і тепла.

Хоча в процесі оптимізації використовувалися два шари плівки EVON, вважається, що один шар EVON, з'єднаний в розплаві з волокнистим шаром, також буде більш вигідним, ніж системи шаруватого матеріалу попереднього рівня техніки.

Варіант концепції дизайну на Фіг. 1 показано на Фіг. 2. У цьому випадку шаруватий матеріал не має окремого внутрішнього первинного газонепроникного шару. Замість цього внутрішню поверхню шаруватого матеріалу металізують після утворення шаруватого матеріалу. Використання шару EVON як адгезивного матеріалу з низькою газопроникністю і металізацією внутрішньої поверхні дає відмінні властивості газонепроникності шаруватого матеріалу. Видалення газонепроникного шару зменшує загальну масу шаруватого матеріалу, в той час як міцність шаруватого матеріалу на розрив не змінюється.

Далі, матеріали, а також методи виробництва, обговорюються в зв'язку з експериментами, які проводилися для оптимізації матеріалу шаруватого матеріалу для корпусу.

Вибір ниток

Щоб забезпечити одночасно малу вагу і високу міцність, вигідно використовувати високоміцні волокна. Було виявлено, що прикладом кращого матеріалу для волокнистого шару є кристалічні волокна PBO (кристалічний поліоксазол, полі (п-фенілен-2,6-бензобісоксазол)), особливо марки Zylon®, оскільки ці волокна мають дуже високу міцність і питомий модуль пружності серед комерційно доступних волокон з високими експлуатаційні характеристики. Ці нитки також мають високу стійкість повзучості. Тому для посилення волокон в шаруватому матеріалі, використовуваному в експериментах, були обрані нитки марки Zylon®. Однак відомо, що волокна PBO є дуже схильні до старіння під дією світлового випромінювання. Присутність вологи і кисню прискорює це старіння, тому необхідно було знайти захисний механізм.

Для армуючого шару можна використовувати як рівноважні, так і нерівноважні структури. У деяких варіантах здійснення була обрана нерівноважна структура, щоб забезпечити різну міцність, необхідну в поздовжньому і круговому напрямку дирижабля, який легше повітря (LTA).

Нитки Zylon® вагою мотка 99 деньє, 150 деньє і 250 деньє були надані компанією Toyobo Co., Ltd. Поставлені нитки, які мали нульове кручення (некручені), були випробувані на міцність на розрив. Середня міцність на розрив некручених ниток вагою мотка 99 деньє і 250 деньє становила 35,5 грам-сила (гс)/деньє (gf/denier) (4,8 % cv; cv - коефіцієнт варіації) і 34,9 грам-сила/деньє (3,0 % cv) відповідно. Визнаючи той факт, що додавання оптимального ступеня кручення (коефіцієнта кручення) до пряжі забезпечує її найвищу міцність на розрив, була проведена серія випробувань для визначення оптимального коефіцієнта кручення і відповідної найвищої міцності на розрив, досяжною при вазі мотка 99 деньє, і 250 деньє ниток Zylon®. Коефіцієнт кручення (TF), який залежить як від величини кручення (кручень на дюйм (tpi); витків на метр (tpm); $1\text{tpi}=39\text{tpm}$), так і від кількості ниток, розраховуються за формулою $TF=0,124 \cdot \text{tpi} \cdot \text{dtex} \cdot 0,5$, де dtex - це одиниця підрахунку, також звана лінійною щільністю пряжі (1 деньє дорівнює 0,9 dtex).

Нитки з вагою мотка 99 деньє (110 dtex) і 250 деньє (278 dtex) скручували з різним ступенем крутки (tpi, tpm) і випробовували на міцність на розрив. Результати, наведені в таблиці 1, показують, що межа міцності при розтягуванні ниток 99 деньє і 250 деньє є найвищим для коефіцієнта кручення $TF=10$, що відповідає 7,69 tpi (або 303 tpm) для ниток 99 деньє і 4,84 tpi (або 190 tpm) для ниток 250 деньє.

Таблиця 1

Коефіцієнт кручення	Вага ниток, деньє	tpi	Міцність на розрив (гс)/деньє		Натягнення і пікове навантаження, %	
			середн. знач.	cv%	середн. знач.	cv%
10.00	99	7.69	40.6	3.3	3.9	9.6
13.21	99	10.16	39.9	3.1	3.8	2.1
9.19	250	4.45	37.5	2.1	3.6	-0
10.00	250	4.84	39.0	1.5	3.7	3.0
11.55	250	5.59	38.0	3.5	3.7	3.7
13.13	250	6.35	38.9	1.4	3.8	~0

Конфігурація волокна для армування

В експериментах з шаром, що здатний нести навантаження, застосовувалися кілька варіантів. Один з них був негнучким двохнитковим поперечно плетеним шаром, показаним на Фіг. 3а, а інший - армуючим шаром з тканого волокна, показаним на Фіг. 3б. Третій варіант з пасмами під кутом $90/\pm 45$ градусів показаний на Фіг. 3в.

Підбір плівки для створення шаруватого матеріалу

EVONH (сополімер етилену і вінілового спирту) має дуже низьку проникність для газу, особливо для He , тому він є хорошим матеріалом для адгезивного шару.

Хороший матеріал для зовнішнього атмосферостійкого шару був знайдений у вигляді PI (поліімід), хоча можливі й інші полімери, наприклад, полівінілфторид (PVF). Переважно, зовнішній атмосферостійкий шар був металізований, щоб відбивати випромінювання і тепло. Щоб захистити метал від пошкоджень, металеве покриття було направлено всередину, тобто між полімером атмосферостійкого шару і плівкою EVONH. Таким чином, полімер захищає метал від корозійного середовища в стратосфері.

В якості альтернативи, атмосферостійкий шар металізують з обох боків. Якщо атмосферостійкий шар металізований з обох боків або має металізований бік, який піддається впливу навколишнього середовища, він переважно захищений антикорозійним покриттям.

У деяких варіантах здійснення внутрішній газонепроникний шар був доданий до протилежного боку шаруватого матеріалу від атмосферостійкого шару, де внутрішній газонепроникний шар був металізованою поліетилентерефталатні (PET) плівкою, наприклад плівкою Mylar®.

Ламінування було виконано для шаруватих матеріалів розміром 7,5 дюйма x 7,5 дюйма (19 см x 19 см) під тиском 285 фунт/кв. дюйм = 1965 кПа між двома нерухомими алюмінієвими плитами при температурі 175-178° C протягом 15 хвилин, верхня межа температурного інтервалу показує кращі результати ламінування. Ці зразки були використані для різних випробувань, як буде описано далі.

Однак, можливі різні комбінації температури і часу витримки. Інші експеримент, де було більш низький тиск і більш низький час витримки при більш високій температурі в діапазоні 180-200 °C, були успішними. Наприклад, температура в 196 °C використовувалася протягом 2 секунд при тиску 60 фунтів на кв. дюйм = 414 кПа.

Вимірювання міцності

Вимірювання міцності на розрив виконували відповідно до стандартних методів випробування на розрив і подовження текстильних тканин (смуговий метод (Strip Method)) ASTM D5035. Значення міцності на розрив наведені в одиницях Н/см і гс/деньє ($\text{mN/tex} = 88,3 \text{ гс/деньє}$ (tex - текс - одиниці лінійної щільності)). Міцність на розрив в Н/см представляє міцність зразка на одиницю ширини в см. Міцність на розрив в гс/деньє представляє міцність зразка на загальний деньє пряжі в напрямку навантаження. Міцність на розрив в гс/деньє використовується в якості нормалізованої метрики для визначення того, яка частина міцності пряжі перекладається в міцність армування ламінованого/неламінованого волокна.

Для нерівноважних структур, як докладно пояснюється нижче, розрахункові значення міцності на розрив (розраховані на основі міцності пряжі і параметрів конструкції армування волокна) становили 1033 Н/см і 516 Н/см в напрямках основи і утка відповідно. Як правило, міцність на розрив в напрямку основи всіх зразків (крім армованих шаруватих тканих волокон) була близька до 1000 Н/см, в той час як для утка всіх зразків була вище 500 Н/см. Відповідні значення параметрів в перерахунку на гс/деньє знаходилися в діапазоні 31-35.

Експерименти також проводилися для рівноважних структур тканини на основі ниток Zylon® в тканині. Нитки Zylon® з низьким крутінням (3-5 tpi) пряжі вагою 99 деньє і щільністю 46-50 урі (приблизно 18-20 нитки на см) використовувалися як для основи, так і для утка в гладкому

переплетенні. Нитки Zylon® оброблялися полівініловим спиртом. Міцності на розрив вимірювали в діапазоні від 520 до 615 Н/см і від 28 до 34 гс/деньє в напрямках основи і утка, і відносно подовження при розриві становило 2,9-3,2 %. Ці результати також дуже хороші для досягнення мети, так як це були значення для тканини, а не для всього шаруватого матеріалу.

Більш докладно дані про виміри наведені далі.

На закінчення, було продемонстровано, що як рівноважні, так і нерівноважні структури з високоміцними нитками є дуже корисні.

Приклад 1 - P3

На Фіг. 4а показано конкретний варіант експериментального зразка на Фіг. 2. Зліва на фігурі показано вага кожного шару в грамах на квадратний метр (г/м^2), а товщина в мікронах (мкм) показано праворуч. Фотографії отриманих шаруватих матеріалів показані на Фіг. 4b.

Схематичний дизайн цього зразка шаруватого матеріалу, який в експерименті отримав назву P3, включає нерівноважну (двошарову) не обтиснуту тканину в якості армуючого волокна. Тканина має нитки Zylon® вагою мотка 250 деньє в напрямках 90 градусів і 0 градусів. Базова вага тканини становить 48 г/м^2 при щільності пряжі 30 урі (30 ниток на дюйм - приблизно 12 ниток на см) в напрямку 90 градусів і 15 урі (приблизно 6 ниток на см) в напрямку 0 градусів. Таким чином, забезпечується більше зусиль в напрямку 90 градусів, ніж в напрямку 0 градусів. Дизайн зразка включає три шари плівки EVON, які забезпечують відмінні адгезійні властивості і властивості газонепроникнення. Розрахункова і виміряна маса цього зразка шаруватого матеріалу склала 111 г/м^2 і 109 г/м^2 відповідно.

Приклад 2 - P4

На Фіг. 5а показаний конкретний варіант експериментального зразка на Фіг. 1. Зліва на фігурі показано вагу кожного шару в грамах на квадратний метр (г/м^2), а товщину показано праворуч. Фотографії отриманих шаруватих матеріалів показано на Фіг. 5b.

Схематичний дизайн цього зразка шаруватого матеріалу, який в експерименті названий P4, включає нерівноважну (двошарову) не обтиснуту тканину в якості армуючого волокна. Тканина має нитки PBO вага мотка 250 деньє в поздовжньому і поперечному напрямках. Основна маса тканини становить 48 г/м^2 при щільності пряжі 30 урі (приблизно 12 ниток на см) в напрямку 90 градусів і 15 урі (приблизно 6 ниток на см) в напрямку 0 градусів. Щоб домогтися меншої ваги шаруватого матеріалу, в дизайні використовуються два шари плівки EVON і нижній шар з легкої металізованої PET-плівки (Mylar®), яка служить в якості основного газонепроникного шару. Розрахункова і виміряна маса цього зразка шаруватого матеріалу становить 103 г/м^2 .

Приклад 3 - P9

На Фіг. 6а показаний конкретний варіант експериментального зразка на Фіг. 1. Зліва на фігурі вагу кожного шару показано в грамах на квадратний метр (г/м^2), а товщину показано праворуч. Фотографії отриманих шаруватих матеріалів показані на Фіг. 6b.

Схематичний дизайн цього зразка шаруватого матеріалу, який в експерименті названий P9, включає нерівноважне ткане полотно в якості армуючого волокна. Ткане полотно має нитки Zylon® вагою 99 деньє кручені 40 tpm в напрямку основи і не кручені нитки Zylon® вагою 250 деньє в напрямку утка відповідно. Базова вага тканини становить 50 г/м^2 при щільності 40 урі (приблизно 16 ниток на см) в напрямку основи і 30 урі (приблизно 12 ниток на см) в напрямку утка. Як і у зразка P4, нижній шар являє собою легку металізовану PET-плівку (Mylar®), яка слугує в якості основного газонепроникного шару. Хоча температура ламінування 175°C забезпечувала задовільну адгезію між шарами, підвищення температури ламінування до 178°C покращувало адгезію між шарами. Розрахункові і виміряні ваги цього зразка шаруватого матеріалу були рівними 105 г/м^2 .

Приклад 4 - P10

На Фіг. 7а показаний конкретний варіант експериментального зразка, показаної на Фіг. 1. Зліва на фігурі вагу кожного шару показано в грамах на квадратний метр (г/м^2), а товщину показано праворуч. Фотографії отриманих шаруватих матеріалів показано на Фіг. 7b.

Схематичний дизайн цього зразка шаруватого матеріалу, який в експерименті названий P10, включає нерівноважне ткане полотно в якості армуючого волокна. На відміну від зразка P9, в зразку P10 використовується тканий матеріал з нитками Zylon® вагою 99 деньє кручені 40 tpm в напрямку основи і не кручені нитки Zylon® вагою 99 деньє в напрямку утка, відповідно. Базова вага тканини становить 50 г/м^2 при щільності пряжі 40 урі (приблизно 16 ниток на см) в напрямку основи і 75 урі (30 ниток на см) в напрямку утка. Спостерігалось, що більш високе значення урі (ниток на дюйм) в напрямку утка формує більш стійку структуру тканини з більш гладкою текстурою поверхні. На початкових етапах використовувалася температура ламінування 175°C , однак це призводило до поганої якості ламінування зі слабкою адгезією металізованої плівки PI. Підвищення температури ламінування до 178°C покращило якість ламінування, але адгезія

була не такою гарною, як у зразка Р9, але все ж задовільною. Розрахункова і виміряна маса цього зразка шаруватого матеріалу становила до 105 г/м².

Виконання газонепроникного шару

Результати випробувань на гелієву проникність (таблиця 2) показують, що, хоча зразки шаруватого матеріалу Р3 і Р4 мають значно нижчу проникність гелію, ніж цільове значення 132 cc / m². day. atm (см³/м², за день при перепаді тиску 1 атмосфера), зразок Р4 шаруватого матеріалу має значно нижчу проникність гелію в порівнянні зі зразком. Р3. Більш низька проникність зразка Р4 пояснюється наявністю металізованого шару Mylar®, що також знижує загальну вагу зразка Р4.

Таблиця 2

Зразок шаруватого матеріалу	Вага шаруватого матеріалу, г/м ²	Проникність газу (He), см ³ /м ² , за день при перепаді тиску 1 атм.
Р3	109	23
Р4	103	8

З огляду на ті ж схеми нашарування, очікувані значення гелієвої проникності зразків Р9 і Р10 будуть такими ж, як і у зразка Р4, які відносно газонепроникності переважали зразок Р3.

Міцність шаруватого матеріалу

Міцність на розрив в напрямку основи і утка у шаруватих зразків Р4, Р9 і Р10 показана в таблиці 3. Встановлено, що межа міцності на розрив одного зразка Р3 складає 1086 Н/см.

***Таблиця 3

Зразок шаруватого матеріалу	Вага шаруватого матеріалу, г/м ²	Міцність на розрив				Межа міцності на розрив (гс)/день				Подовження в % до розриву			
		Основа		Уток		Основа		Уток		Основа		Уток	
		сер. знач.	cv%	сер. знач.	cv%	сер. знач.	cv%	сер. знач.	cv%	сер. знач.	cv%	сер. знач.	cv%
Р4	103	945,4	5,5	507,8	7,9	32,1	5,7	35,3	5,0	3,17	7,3	2,91	5,0
Р9	105	486,9	6,0	970,8	3,7	32,0	5,5	32,9	4,5	3,01	7,8	3,29	8,8
Р10	105	476,8	-	956,4	-	30,7	-	33,3	-	2,68	-	3,41	-

Розрахункові значення межі міцності на розрив, розраховані на основі параметрів міцності пряжі і структурних параметрів армуючого волокна, становлять 1033 Н/см і 516 Н/см в двох напрямках. Виміряна міцність на розрив дослідних зразків була дещо нижчою, ніж розрахункові значення. Більш низькі значення міцності на розрив у порівнянні з розрахунковою міцністю на розрив пояснюється ручною підготовкою експериментальних зразків шаруватого матеріалу, що призводить до відсутності повного вирівнювання ниток і нерівномірного натягу ниток. Ці недоліки призводять до нерівномірного розподілу навантаження між нитками, здатними нести навантаження, що в кінцевому підсумку викликає передчасний розрив зразків під час випробування. Вважається, що межа міцності на розрив покращиться і стане аналогічною теоретичним значенням, коли шаруваті матеріали будуть виготовлятися на спеціалізованому виробничому підприємстві у великому масштабі. Однак слід зазначити, що експериментальні значення відхиляються менш ніж на 10 % від теоретичних значень, що є достатньо задовільним результатом.

Порівняння з іншими дослідженнями

Порівняння міцності і ваги нових дослідних зразків шаруватого матеріалу і шаруватих матеріалів, розроблених при інших дослідженнях і наведених в літературі, показано на Фіг. 8. Посилання на дослідження, показані в таблиці 4 і наведені в кінці цього розділу.

Порівняння величини відношення міцності до ваги нового шаруватого матеріалу з шаруватими матеріалами, розробленими іншими дослідниками, показано на Фіг. 9. Нові зразки шаруватого матеріалу не тільки значно легше, ніж будь-які інші шаруваті матеріали з аналогічною міцністю на розрив, але також значно міцніше, ніж будь-який шаруватий матеріал з аналогічною вагою. Відношення міцності до ваги нових зразків шаруватого матеріалу вище, ніж у всіх шаруватих матеріалів, розроблених іншими дослідниками.

Як видно з цього порівняння, міцність шаруватих матеріалів зразків Р3, Р4, Р9 і Р10 відносно ваги є достатньо високою, що робить їх дуже придатними для використання в повітряних літальних апаратах. Проте, слід зазначити, що хороше відношення міцності на розрив до ваги,

як показано на Фіг. 9, можна масштабувати до більш товстих шаруватих матеріалів, що сприяє наведеним в якості прикладу шаруватим матеріалами вважатися шаруватими матеріалами, які мають в цілому більш високу міцність (див. Фіг. 8).

Таблиця 4

#	Організація/ випробування	Примітки	Опис матеріалу	Міцність Н/см	Вага г/см ²	Відношен. міцність/ вага, кН.м/кг
A1	Development of High Specific Strength Envelope Material ¹	"Z500-100" means 500d Zylon fiber is used & 100 gsm	Z500-100PU-XL	1300	244	533
A2			Z250-94PU-XL	1240	235	528
A3			Z250-79PU-XL	1100	226	487
A4			Z250-47PL-XL	615	193	319
A5			Z250-47PU	610	164	372
A6			Z250-40PU	510	151	331
B1	Development of High Specific Strength Envelope Material ¹	B3, B5 are developed.	V-PU-XL	610	198	308
B2		B1, B2, B4 are off the shelf;	V100-31PE-XLA	620	150	413
B3		V:Vectran.	V-PU-XL	350	111	315
B4		PU:Polyurethane, PE:Polyethylene, XL:EVON XLA:Aluminum stuck EVOH	V200-102PU-XL	1060	274	387
C1	Development of High Specific Strength Envelope Material ¹	A1-A6 are modified into this category; TA:Tedlar with Aluminium-deposit, T: Tedlar. Z: Zylon, PUA: Polyurethane with Aluminum deposit	TA-Z250-110PU	1327	198	670
C2			T-Z250-110PU	1313	225	584
D1	Development of High Specific Strength Envelope Material ¹		Z250-110PUA-XLD	1337	163	820
D2			Z250110PU-XLD	1350	171	789
E1	Development of High Specific Envelope Material ¹	for internal gas bag or light weight use: N:Nylon. K: Kevlar, H:Hydrel; MI: Mictron	N30-1014-XLD	105	78	135
E2			K200-H-MI	450	130	346
E3			V-H-MI	500	104	481
E4			Z-H-MI	440	117	376
F1	Development of High Specific Strength Envelope Material ¹	Thick Zylon fibers are sandwiched by two Mylar films	Z500-37M	680	161	422
F2			Z1000-74M	1220	198	616
F3			Z1500-111M	1800	236	763
F4			Z1000-44M	770	170	453
F5			Z1500-67M	1090	193	565
F6			Z2000-89M	1400	210	667
G1	Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) ^{2,3,4}	Suitable for Operational Airship (overall length: 250 m)	AL- PVF+Pu+Zylon fabric+PU	1310	203	645
H1	Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) ^{4,5,6}	"Technology Demonstrator" Airship (overall length: 150 m)	AL-PVF+PU + Zylon fabric+PU	993	157	632
J1	Cubit Tech Corp ⁷	Heavy Zylon Noncrimp Fabric	Zylon FR (349 gsm)	2833	-	-
J2	Cubic Tech Corp ⁷	Medium Vectran Noncrimp Fabric	Vectran FR (139 gsm)	916	-	-
K1	Kang et al. 2006 ⁸	Vectran woven Fabric	Vectran FR (109)+PU coating+PVF+PU film	883	220	401

Продовження таблиці 4

L1	Gu 2007 ⁹	Lindstrand HALE Airship Envelope	Vectran FR	1460	295	445
L2	Gu 2007 ⁹	Envelope of Stratospheric Airship (overall length 200 m)	na	1360	210	648
M1	Cao & Gao 2009 ¹⁰	Zylon plain weave (Warp)	PBO FR(87)+ PVF (52) + PU (25*2)+ PU coating (5-8)	1013	189	536
		Zylon plain weave (Weft)		1281		678
N1	Li et al. 2010 ¹¹	Zylon plain weave (Warp)	990 denier PBO(78)+ PET (40) + PVT (30) + PU (30)	1578	178	887
		Zylon plain weave (Weft)		1356		762

* /1 Development of High Specific Strength Envelope Material - Удосконалення високоміцного матеріалу для корпусу 1

Посилання в таблиці 4:

1. "Розробка матеріалу з високою питомою міцністю для корпусу" (Kamatsu, K, Sano, M., and Kakuta, Y., "Development of High Specific Strength Envelope Material", AAIA 3rd Annual Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Tech, Nov 17-18 2003, Denver, Colorado).
 2. "Сценарій розробки технології дирижабля типу SPF" (Sasaki Y., Eguchi, K, Копо Т, and Maekawa, S, "Scenario for Development of the SPF Airship Technology Demonstrator", The Fifth Stratospheric Platform Systems Workshop, Feb 23-24, 2005, Tokyo, Japan).
 3. "До питання проектування конструкції дирижабля типу стратосферної платформи" (Maekawa S, "On the Design Issue of a Stratospheric Platform Airship Structure" NAL TM-722, National Aerospace Laboratory of Japan, May 2003).
 4. "Поширення розриву високоефективного матеріалу для корпусу повітряного судна" (Maekawa, S and Yoshino, T, "Tear propagation of a High-Performance Airship Envelope Material", Journal of Aircraft, 45 (5), Sept-Oct 2008).
 5. "Посилення отвору для високоміцного і легкого матеріалу типу Zylon для корпусу", (Nkadate, M., Maekawa, S., Maeda T, Hiyoshi, M., Kitada, T., and Segawa, S. "Reinforcement of an Opening for High Strength and Light Weight Envelop Material Zylon" 18th AIAA Lighter-Than-Air Systems Technology Conference, May 4-7 2009, Seattle, Washington, USA).
 6. "Розробка високоміцного і легкого матеріалу Zylon для корпусу" (Nakadate, M., Maekawa, S., Shibasaki, K, Kurose, T. Kitada, T, and Segawa, S., "Development of High Strength and Light Weight Envelop Material Zylon" 7th International Airship Convention 2008, Friedrichshafen Germany, Oct. 9-11 2008).
 7. "Високе відношення міцність- вага нетканих технічних матеріалів для аерокосмічних застосувань", (High Strength-to-Weight Ratio Non-Woven Technical Fabrics for Aerospace Applications" Cubic Tech Corp, 2009, Mesa, Arizona).
 8. "Характеристика механічних властивостей плівко-тканинного шаруватого матеріалу для корпусу стратосферного дирижабля" (Kang, W, Suh, Y, and Woo, K..., "Mechanical property characterization of film-fabric laminate for stratospheric airship envelope" Composite Structures, 75, pp.151-155,2006).
 9. "Дослідження матеріалу корпусу стратосферного корабля". (Gu Z., "Research of Stratospheric Airships Skin Material" Spacecraft Recovery& Remote Sensing, 28(1), pp. 62-66, 2007).
 10. "Виготовлення і дослідження матеріалів для корпусу стратосферних літальних апаратів з тканиною PBO, здатної нести навантаження" (Cao, X, and Gao, C. "Fabrication and Investigation of Envelope Materials for Stratospheric Aircraft with PBO Fabric as Load-carriers" High-tech Fibre& Application, 34(4), pp. 0-5, 2009).
 11. "Дослідження механічних властивостей високоміцних матеріалів для корпусу". (Li B, Xing L, Zhou Z, Jiang S, and Chen X., "Study on Mechanical Properties of High Performance Envelope Materials" Material Engineering, pp. 1-5, 2010).
- Ефект теплової та ультрафіолетового атмосферостійкості
Дослідні зразки шаруватих матеріалів P4, P9 і P10 були піддані двом різним умовам атмосферних впливів. При одному впливі атмосферних чинників зразки піддавалися термічній

дії протягом 24 годин в печі при 80 °С Інше дослідження впливу атмосферних факторів включало прискорений вплив ультрафіолетового та видимого світла (UV-Vis) спектра від ~ 275 до 700 нм протягом 170 годин (~ 60 днів в режимі реального часу на висоті 10 км). Зразки витримувалися в метеорологічному вимірнику погоди типу Atlas Ci 3000 + (www.atlas-mts.com) з рівнем освітленості 1,1 Вт/м² при довжині хвилі 340 нм. Під час дії атмосферних чинників UV-Vis температура дослідних зразків підтримувалася на рівні близько 80 °С. Для забезпечення дії атмосферних впливів UV-Vis зразки встановлювали на металеві рами, а внутрішній бік (бік матеріалу Mylar®) зразків був покритий двома шарами чорного карткового паперу, щоб запобігти будь-який впливів на внутрішній бік. Потім рами були встановлені на круглих направляючих усередині камери для випробування типу Atlas Ci 3000+Wether-Ometer таким чином, щоб зовнішня поверхня зразків була звернена до джерела ультрафіолетового і видимого світла.

Після кожної дії на зразок атмосферних чинників була визначена міцність на розрив дослідних зразків. Втрата міцності в процентах визначалася таким чином:

Втрата міцності, % = ((Міцність на розрив перед дією фактора впливу - міцність на розрив після дії фактора впливу)/Міцність на розрив перед дією фактора впливу)х 100.

Це використовувалося для оцінки термічного старіння і старіння від впливу світлового випромінювання.

Було виявлено, що середня міцність на розрив до і після термічної дії і атмосферного впливу UV-Vis (ультрафіолетовим і видимим світлом) була статистично однаковою (статистичний аналіз був виконаний з використанням t-критерію з рівнем достовірності 95 %). Можна зробити висновок про незначне погіршення, яке викликане тепловою дією і атмосферною дією UV-Vis. Важливо відзначити, що зразки, випробувані до і після впливу атмосферних чинників, були взяті з різних копій одного і того ж зразка. Через ручну підготовку зразків, всередині набору зразків існують власні відмінності, а також відмінності між різними наборами одного і того ж зразка. Деякі із зразків, які зазнали дію тепла, показали більш високу міцність в порівнянні з відповідними зразками, які не піддавалися такому впливу, що прямо вказує на змінність зразків в наборі. Графічне порівняння міцності на розрив зразків P4, P9 і P10 до і після термообробки і атмосферного впливу UV-Vis. показано на Фіг. 10.

Втрату міцності в % зразків P4, P9 і P10 після термічної дії і прискореного атмосферного впливу UV-Vis показано на Фіг. 11.

Середня міцність на розрив до і після термічної дії і атмосферного впливу UV-Vis була визнана найкращою з точки зору статистики (статистичний аналіз був проведений з використанням t-критерію з рівнем достовірності 95 %). Тому можна зробити висновок, що погіршення, викликане тепловим впливом і атмосферного впливу UV-Vis, незначно. Важливо відзначити, що зразки, випробувані до і після впливу атмосферних чинників, були взяті з різних наборів одного і того ж зразка. Через ручної підготовки зразків, всередині набору зразків існують власні відмінності, а також відмінності між різними наборами одного і того ж зразка. Деякі із зразків, які зазнали впливу тепла, показали більш високу міцність в порівнянні з відповідними зразками, які не піддавалися такому впливу, що прямо вказує на змінність зразків в наборі.

Вимірювання міцності на розрив

Міцність на розрив зразків P4 і P9 вимірювали з використанням методу випробування на розрив з розрізом MIL-C-21189. Схематичний вигляд випробуваного зразка показано на Фіг. 12. У центрі зразка, перпендикулярно напрямку випробування, зроблений проріз розміром 1,25 дюйма. Зразки мають ширину 4 дюйма і еталонну довжину 3 дюйма між місцями захоплення.

Міцність зразка на розрив розраховували шляхом усереднення 5 найвищих пікових навантажень під час випробування на розрив. Три екземпляри з набору зразків були випробувані в напрямках основи і утка. Результати міцності на розрив зразків P4 і P9 наведені в таблиці 5.

Таблица 5

Зразок шаруватого матеріалу	Міцність на розрив			
	Основа		Уток	
	серед. знач.	cv%	серед. знач.	cv%
P4	330,7	9,5	403,5	9,7
P9	290,0	6,6	533,7	5,2

Причиною більш високої міцності на розрив в напрямку основи зразка Р4 в порівнянні зі зразком Р9 є відмінність у вазі мотка (в деньє) ниток основи пряжі, використовуваної для побудови двох структур. У зразку Р4 використовувалися нитки 250 деньє, а в зразку Р9-99 деньє. З літератури добре відомо, що розривне навантаження збільшується за рахунок збільшення навантаження обриву нитки.

Опір подовженню при повзучості

Примірник зразка Р4 шириною 1 дюйм піддавався постійному навантаженню 1250 Н протягом 1 дня на випробувальному стенді типу MTS Load frame (www.mts.com), де вантажна рама працювала в режимі управління навантаженням. Вимірювальна база випробуваного зразка становила 3 дюйма (76 мм). Криву збільшення навантаження при випробуванні показано на Фіг. 13. Після миттєвого подовження на 1,6 % зразок Р4 показав дуже невелике збільшення повзучості - 0,02 %.

Альтернативні шаруваті матеріали

Фіг. 14 і Фіг. 15 показані варіанти схем здійснення шаруватого матеріалу з більш легкою вагою, принципова схема яких показана на Фіг. 2.

У структурі зразка шаруватого матеріалу, в експериментах названого Р12 і показаного на Фіг. 14, використовується в якості армуючого волокна нерівноважна з поперечним розташуванням ниток мультіаксіальна тканина або нерівноважна плетена тканина. Тканина вагою 48 г/м² виготовляється з ниток РВО. Внутрішня поверхня шаруватого матеріалу (адгезивний шар) є металізованим після утворення шаруватого матеріалу. Орієнтовна вага зразка шаруватого матеріалу становить 96 г/м².

Очікувалося, що використання трьохплетеної мультіаксіальної тканини не тільки зменшить вагу армуючого волокна, а й збільшить міцність шаруватого матеріалу на розрив. Приклад прототипу шаруватого матеріалу з трьохплетеної тканиною для армування описаний нижче з посиланням на Фіг. 5. Схематичний дизайн цього зразка шаруватого матеріалу, в експерименті названого Р13 і показаного на Фіг. 15, використовується трьохплетена тканина (вага 250 деньє) з 15 урі (приблизно 6 ниток на см) в напрямку 90° і 11 урі (приблизно 4 нитки на см) в напрямках +/- 45°. Три нитки розташовані так, як показано на Фіг. 3с. Вага тканини для армування дорівнює 41 г/м². Подібно зразку Р12, внутрішня поверхня шаруватого матеріалу (адгезивний шар) є металізованим після процесу ламінування. Передбачувана вага шаруватого матеріалу, як очікується, складе 89 г/м². Розрахункова міцність на розрив зразка Р13 шаруватого матеріалу оцінюється понад 1000 Н/см.

Схематичний дизайн зразка шаруватого матеріалу, в експерименті названого Р14 і показаного на Фіг. 16, використовує трьохплетену тканину (вага 250 деньє) з 22 урі (приблизно 9 ниток на см) в напрямку 90° і 16 урі (приблизно 6 ниток на см) в напрямках +/- 45°. Вага тканини для армування дорівнює 59 г/м². Три нитки розташовані так, як показано на Фіг. 3с. Подібно зразку Р12, внутрішня поверхня шаруватого матеріалу (адгезивний шар) металізується після процесу ламінування. Передбачувана вага шаруватого матеріалу, як очікується, складе 107 г/м². Розрахункова міцність на розрив зразка Р13 оцінюється вище 1550 Н/см. Співвідношення міцності до ваги оцінюється як близьке до 1400 кН.м/кг, що значно вище, ніж у всіх шаруватих матеріалів, розроблених при інших дослідженнях.

Вимірювання температурної стабільності

Динамічний механічний аналіз (DMA) був зроблений на ряді зразків при великому температурному діапазоні, щоб з'ясувати, чи можуть низькі температури стати проблемою для гнучкості матеріалу. Температурний інтервал становив від -60° С до 100° С. У цьому інтервалі модуль втрат, що відноситься до властивостей нееластичності і розсіювання енергії, і модуль накопичення, що відноситься до властивостей еластичності, вимірювали в одиницях МПа з допомогою вимірювального приладу типу DMA Q000, що комерційно поставляється фірмою TA Instruments, New Castle, DE19720., США (www.TAInstruments.com). Крім того, було розраховано співвідношення між двома параметрами, також званими тангенс дельта (Tan Delta). Вимірювання показані на фіг. 17a, 17b і 17c.

Вимірювання проілюстровано на:

Фіг. 17a для зразка плівки EVOH розміром 20 × 7 × 0,0130 мм, Фіг. 17b для зразка майларової плівки (Mylar film) розміром 22 × 7 × 0,0050 мм, Фіг. 17c для зразка поліімідної (PI) плівки розміром 23 × 7 × 0,0130 мм, Фіг. 17d для зразка Р4 с межею міцності основи 3 (Warp tensile 3) розміром 19 × 6 × 0,1020 мм.

Вимірювання показали, що плівки EVOH, Mylar і PI є стабільні при низьких температурах, без проявів низької температурної слабкості. Для плівки EVOH це є несподіваним з огляду на статтю авторів Zhai and Euler, обговорювану у вступній частині. Крива тангенс дельта (Tan Delta) вказує на фазові переходи, які для плівок при низьких температурах, мабуть, не

відбуваються. Для шаруватих матеріалів зразка Р4 ніяких ознак розшарування і фізичного ушкодження не спостерігалось. Вважається, що нагрів тканини до 180° С під час обробки призводить до зшивання полімерів до їх кінцевого стану в тканини, що є перевагою для забезпечення стабільності.

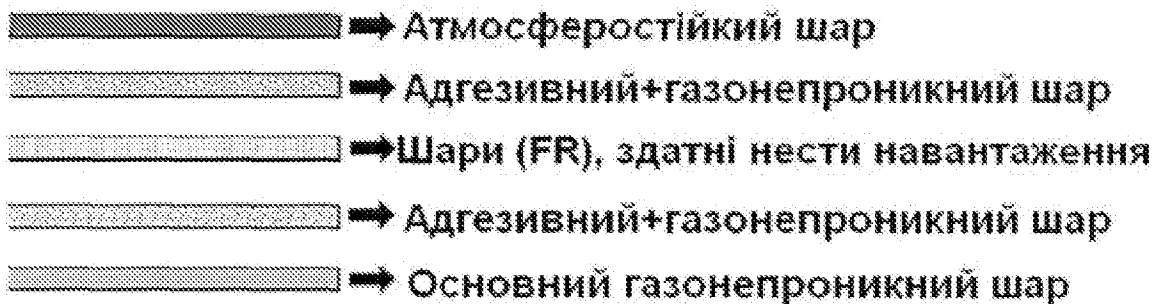
5 Висновки

Розроблено легковагові шаруваті матеріали для корпусу висотних літальних апаратів легше повітря, які мають покращені властивості. Нові зразки шаруватого матеріалу не тільки значно легше, ніж шаруватий матеріали попереднього рівня техніки з аналогічною міцністю на розрив, але також значно міцніше, ніж шаруватий матеріали попереднього рівня техніки з аналогічною вагою. Питома міцність (відношення міцності до ваги) зразків шаруватого матеріалу значно вище, ніж існуючих на даний час. Дослідні зразки шаруватих матеріалів також мають добру стійкість до термічного руйнування, руйнування від непереборних світлових променів, хімічну стійкість, особливо до синглетного кисню і озону, мають відмінні властивості газонепроникності і чудову стійкість до подовження при повзучості. Крім того, крайня плівка/шар також забезпечує добре термоуправління, включаючи низьку випромінювальну здатність. Відповідно, шаруватий матеріал має багатофункціональні властивості високого рівня. Концепція дизайну шаруватого матеріалу може бути використана для зменшення або збільшення ваги шаруватих матеріалів при збереженні в значній мірі відношення міцності до ваги.

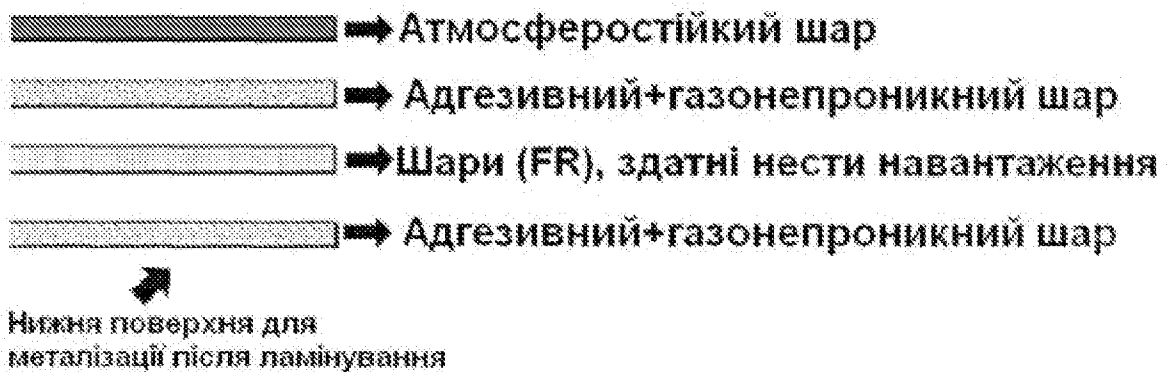
20 ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

1. Літальний апарат з корпусом, виконаним з шаруватого матеріалу, що є газонепроникною конструкцією, здатною нести навантаження, причому шаруватий матеріал має армуючий волокнистий шар і першу плівку з етиленвінілового спирту (EVON), з'єднану в розплаві з
- 25 волокнистим шаром на одному боці волокнистого шару, причому плівка EVON знаходиться в безпосередньому контакті з армуючим волокнистим шаром.
2. Літальний апарат за п. 1, в якому другу плівку EVON з'єднано в розплаві з волокнистим шаром на протилежному боці волокнистого шару, причому друга плівка EVON знаходиться в безпосередньому контакті з армуючим волокнистим шаром.
- 30 3. Літальний апарат за п. 1 або 2, в якому армуючий волокнистий шар має волокна з рідкокристалічного полімеру.
4. Літальний апарат за п. 3, в якому рідкокристалічний полімер являє собою полі[п-фенілен-2,6-бензобіс(оксазол)], PBO.
5. Літальний апарат за п. 3 або 4, в якому щонайменше деякі з рідкокристалічних волокон є скрученими.
- 35 6. Літальний апарат за п. 5, в якому скручені рідкокристалічні волокна мають кількість витків від 30 до 50 на метр.
7. Літальний апарат за п. 5 або 6, в якому волокнистий шар містить щонайменше першу сукупність волокон і другу сукупність волокон, причому волокна в першій сукупності волокон є скрученими рідкокристалічними волокнами, орієнтованими в першому напрямку, а волокна у
- 40 другій сукупності волокон є нескрученими рідкокристалічними волокнами, орієнтованими в другому напрямку, який відрізняється від першого напрямку.
8. Літальний апарат за п. 7, в якому перший і другий напрямки мають кут між напрямками щонайменше 30°.
- 45 9. Літальний апарат за п. 7 або 8, в якому перший і другий напрямки перпендикулярні між собою.
10. Літальний апарат за будь-яким з пп. 7-9, в якому перша сукупність волокон має першу щільність ниток, а друга сукупність волокон має другу щільність ниток, яка відрізняється від першої щільності ниток мінімум в два рази.
- 50 11. Літальний апарат за будь-яким з попередніх пп., в якому вага волокнистого шару становить 40-70 г/м².
12. Літальний апарат за будь-яким з попередніх пп., в якому товщина першої плівки EVON складає 10-20 мкм.
13. Літальний апарат за п. 2 або будь-яким з залежних від нього пп., в якому товщина другої
- 55 плівки EVON становить 10-20 мкм.
14. Літальний апарат за будь-яким з попередніх пп., в якому шаруватий матеріал містить атмосферостійкий шар, з'єднаний в розплаві з першою плівкою EVON, і в якому атмосферостійкий шар має металізовану полімерну плівку.
15. Літальний апарат за п. 14, в якому металізована полімерна плівка має металевий шар, з'єднаний в розплаві з шаром першої плівки EVON.
- 60

16. Літальний апарат за п. 14 або 15, в якому товщина атмосферостійкого шару становить 10-20 мкм.
17. Літальний апарат за п. 2 або будь-яким з залежних від нього пп., в якому шаруватий матеріал містить газонепроникний металізований шар, з'єднаний в розплаві з другою плівкою EVONH на протилежному боці шаруватого матеріалу відносно атмосферостійкого шару.
18. Літальний апарат за п. 17, в якому газонепроникний металізований шар містить металізовану полімерну плівку, з'єднану в розплаві з другою плівкою EVONH металевого шару на протилежному боці металізованої полімерної плівки відносно другої плівки EVONH.
19. Літальний апарат за п. 18, в якому шар металізованої полімерної плівки є шаром поліетилентерефталату (PET) товщиною 4-8 мкм.
20. Літальний апарат за будь-яким з попередніх пп., в якому шаруватий матеріал має вагу 90-110 г/м².
21. Літальний апарат за будь-яким попереднім пунктом, в якому відношення міцності на розрив до ваги шаруватого матеріалу становить понад 890 кНм /кг.
22. Спосіб виробництва шаруватого матеріалу для літального апарата за будь-яким з попередніх пп., в якому виконують армуючий волокнистий шар і першу плівку EVONH на одному боці волокнистого шару і виконують термічне пресування шарів разом при температурі 175-200 °C для з'єднання в розплаві.



Фіг. 1



Фіг. 2

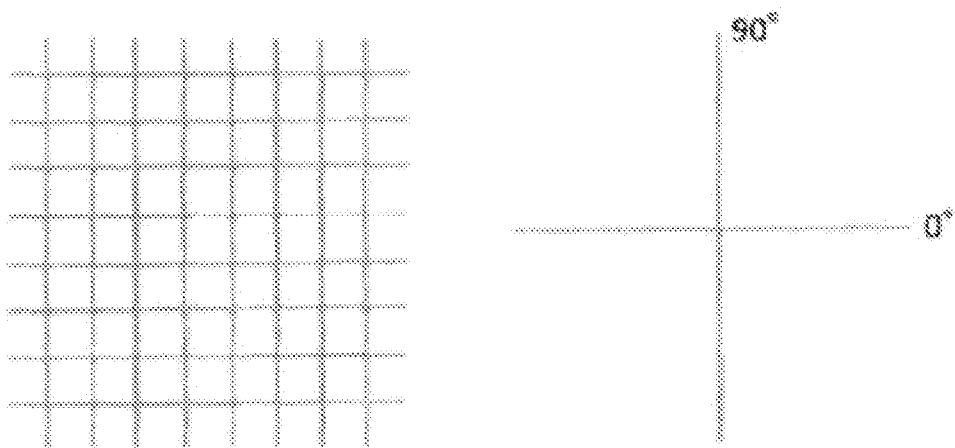


Fig. 3a

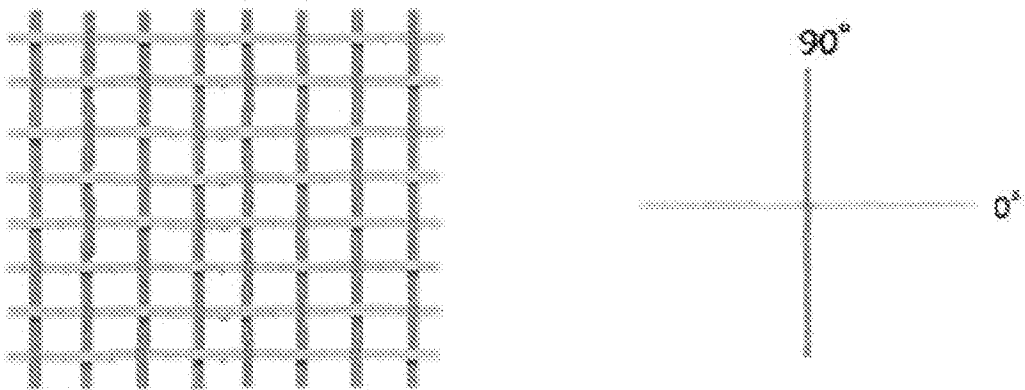


Fig. 3b

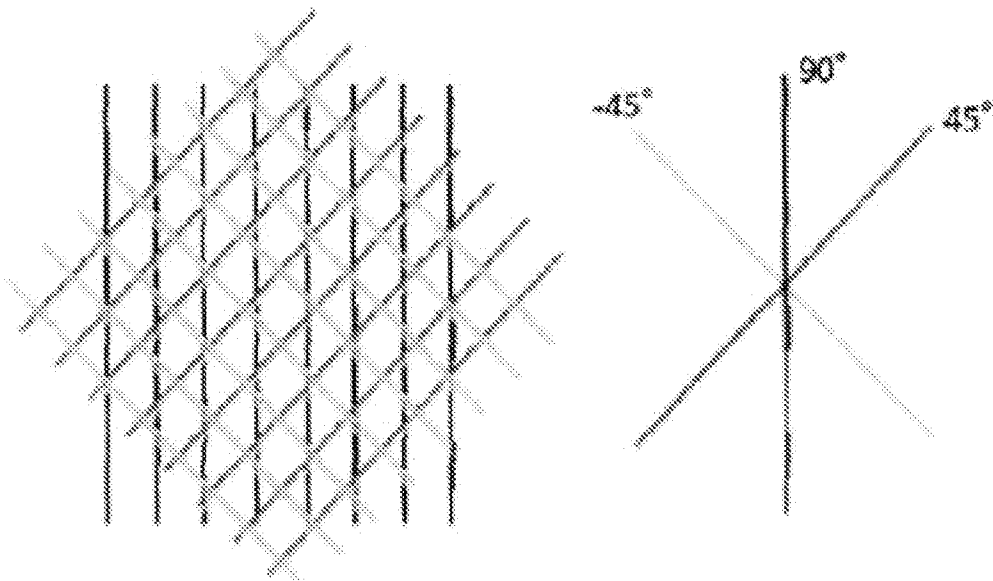
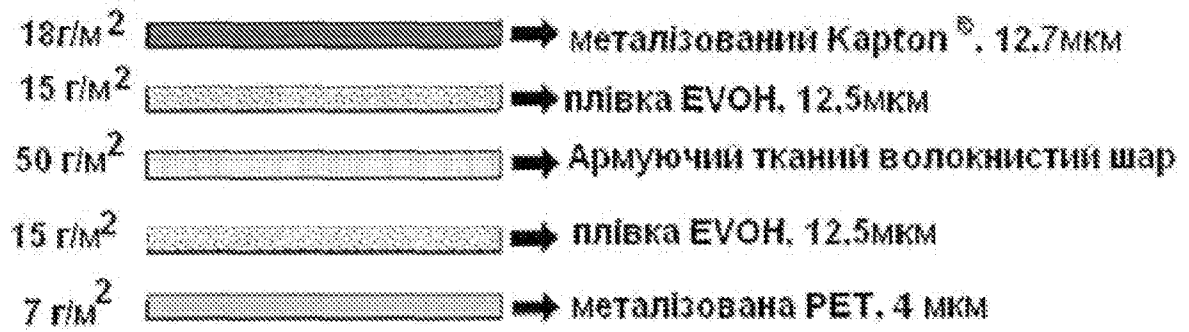
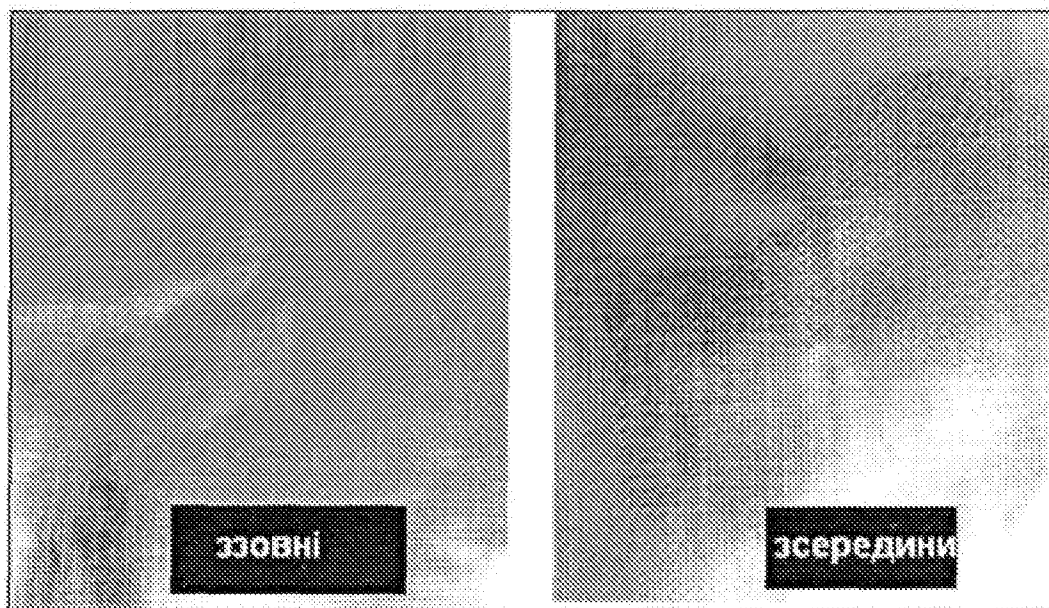


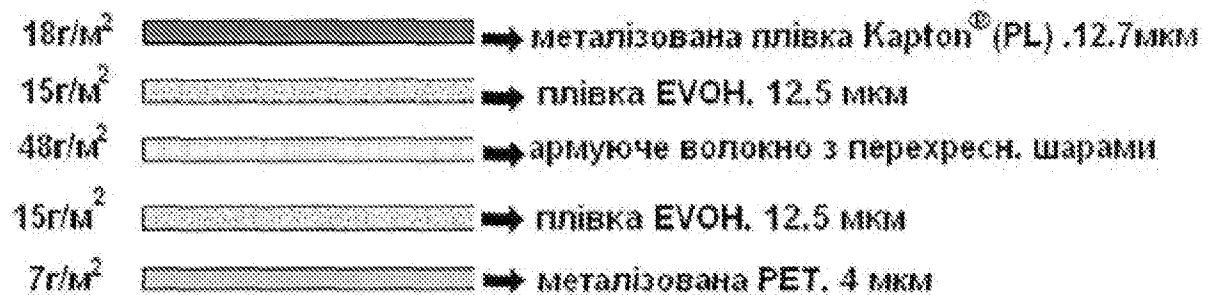
Fig. 3c



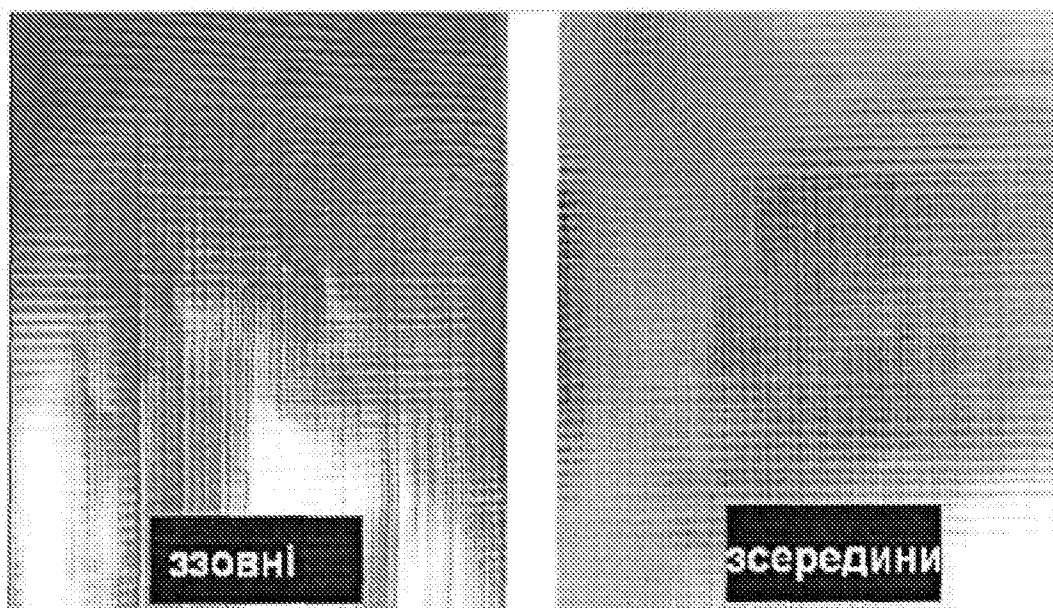
Фіг. 4а



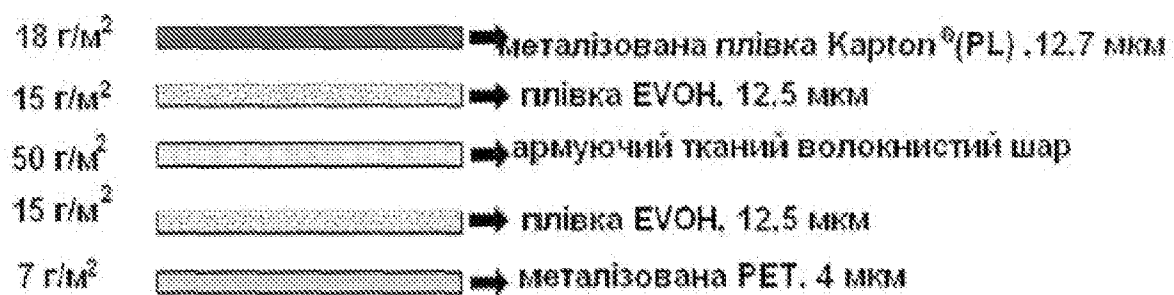
Фіг. 4b



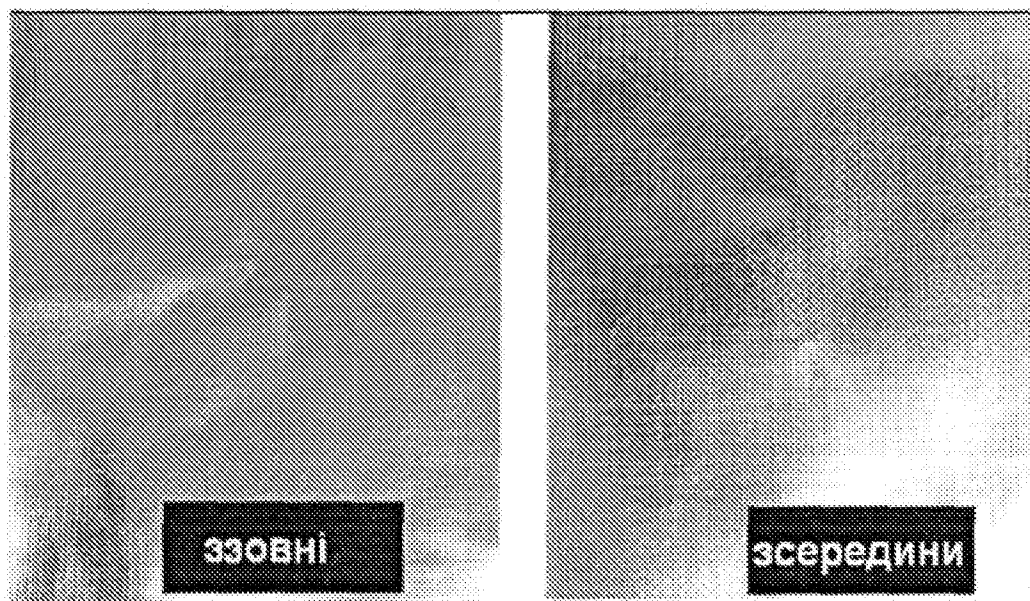
Фіг. 5а



Фіг. 5b



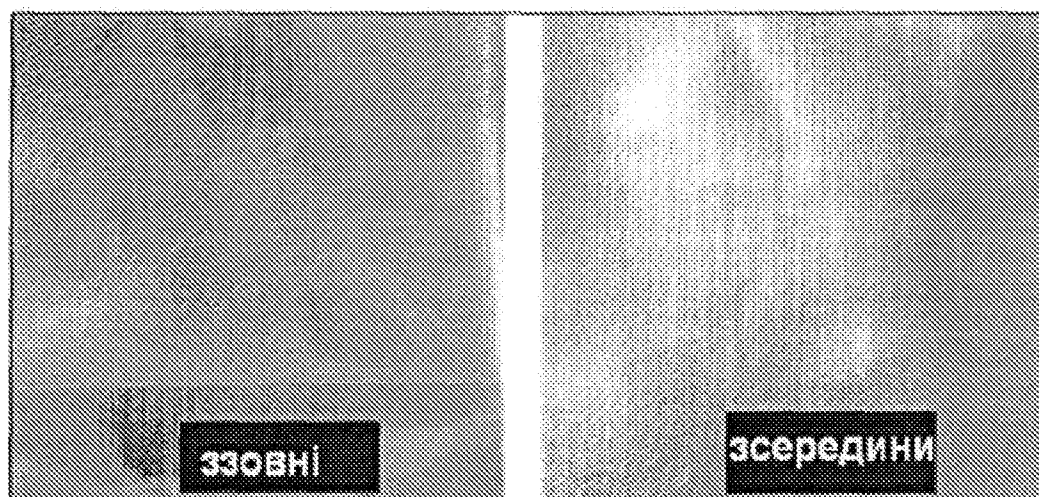
Фіг. 6a



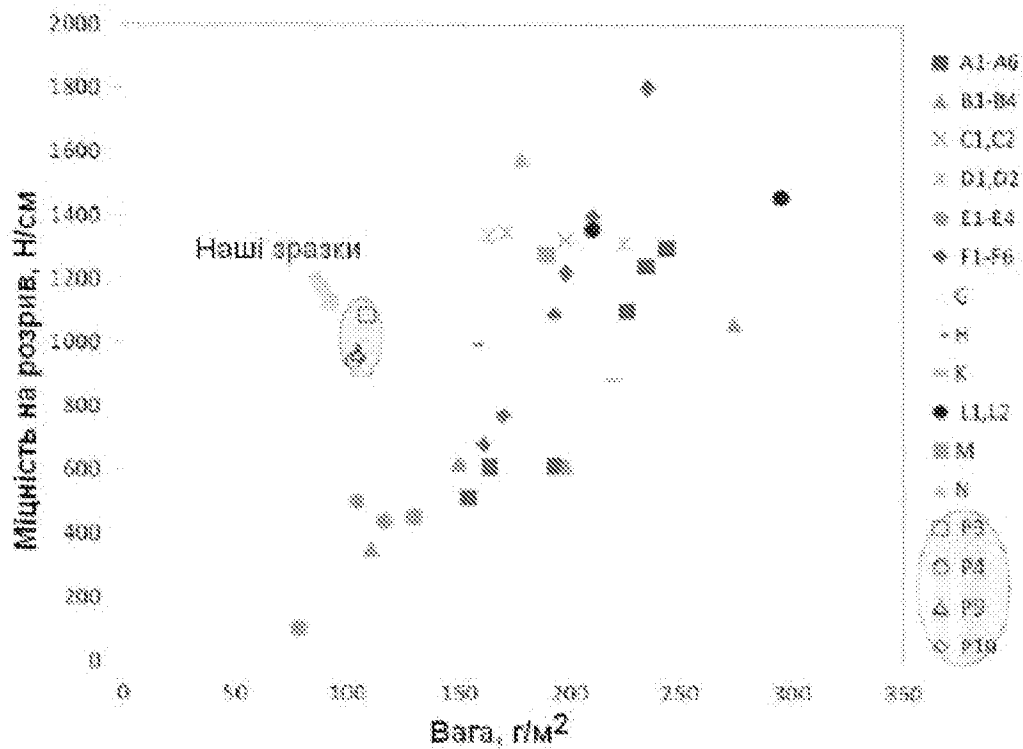
Фіг. 6b

- 18 г/м²  → металізована плівка Картон® (PL) . 12,7 мкм
- 15 г/м²  → плівка EVOH. 12,5 мкм
- 50 г/м²  → армуючий тканий волокнистий шар
- 15 г/м²  → плівка EVOH. 12,5 мкм
- 7 г/м²  → металізована PET. 4 мкм

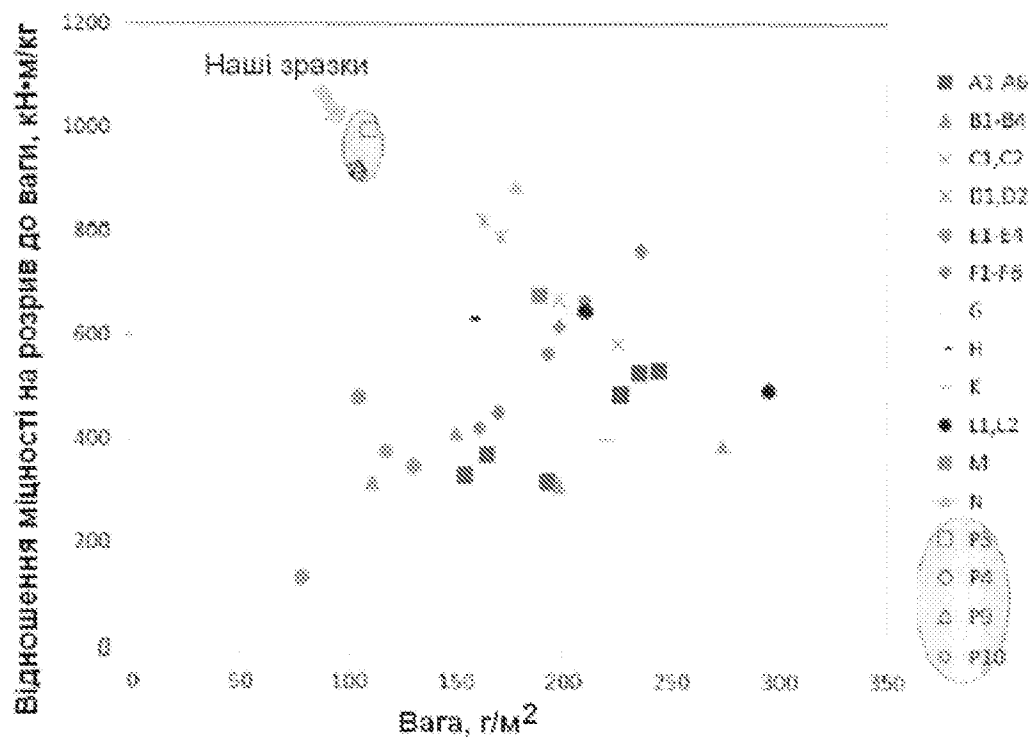
Фіг. 7a



Фіг. 7b



Фіг. 8



Фіг. 9

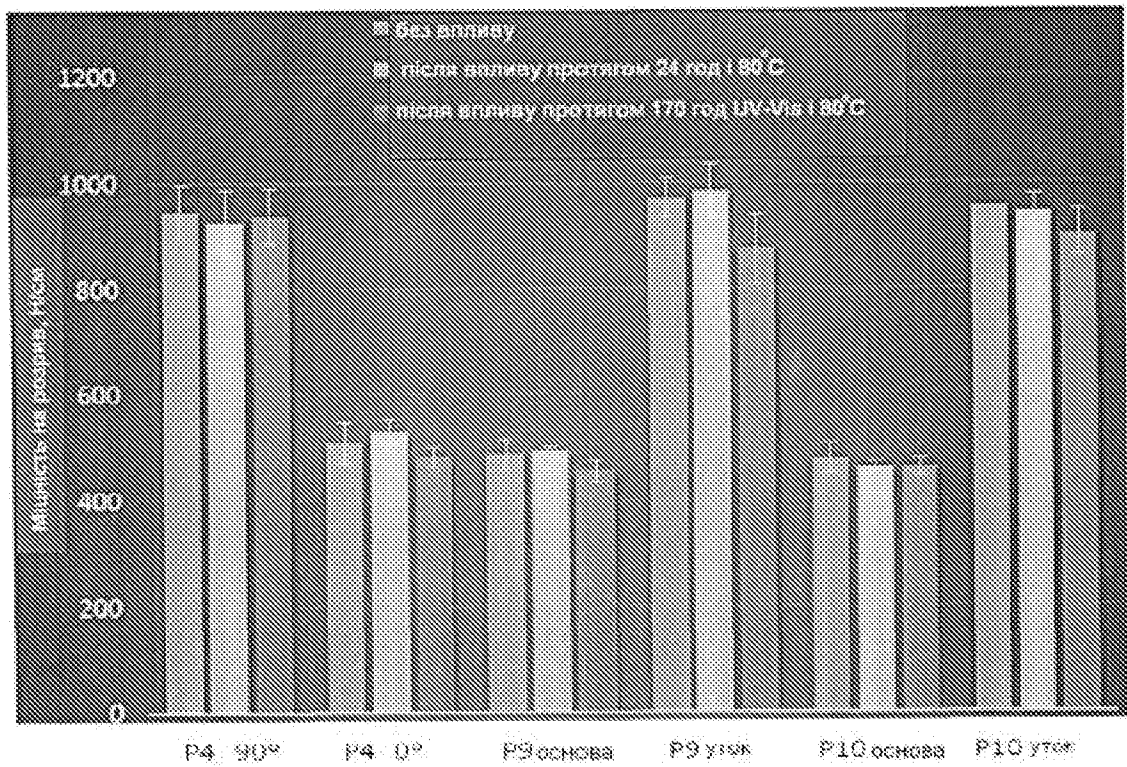


Fig. 10

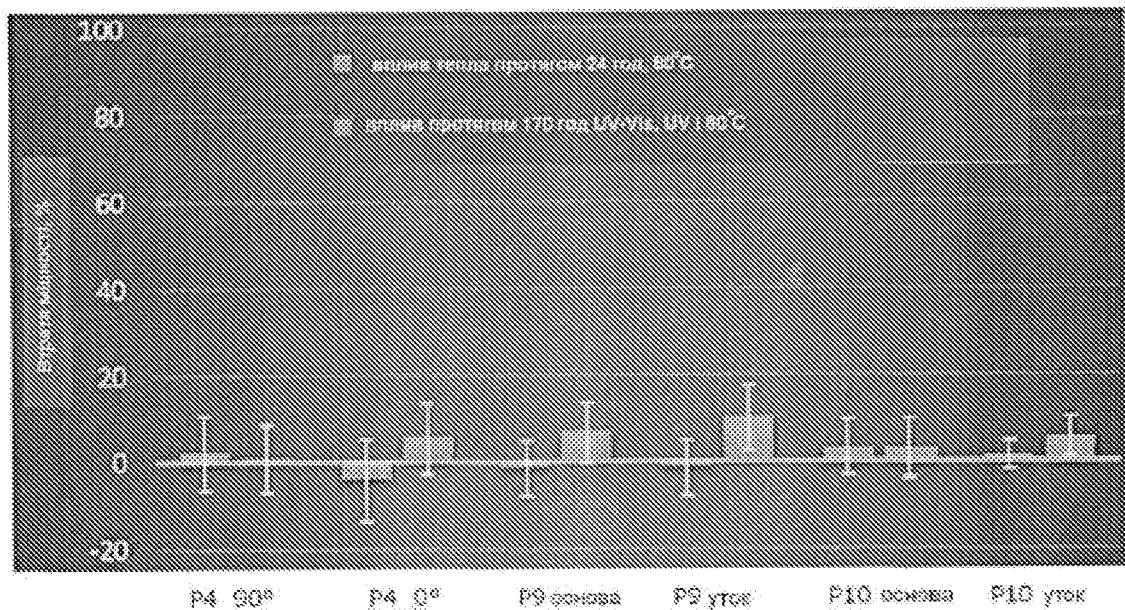
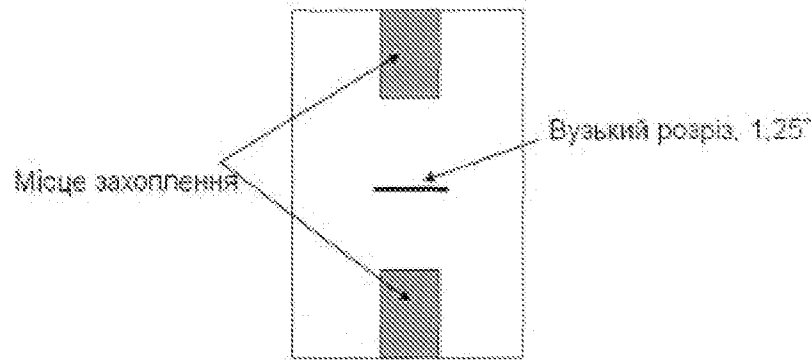
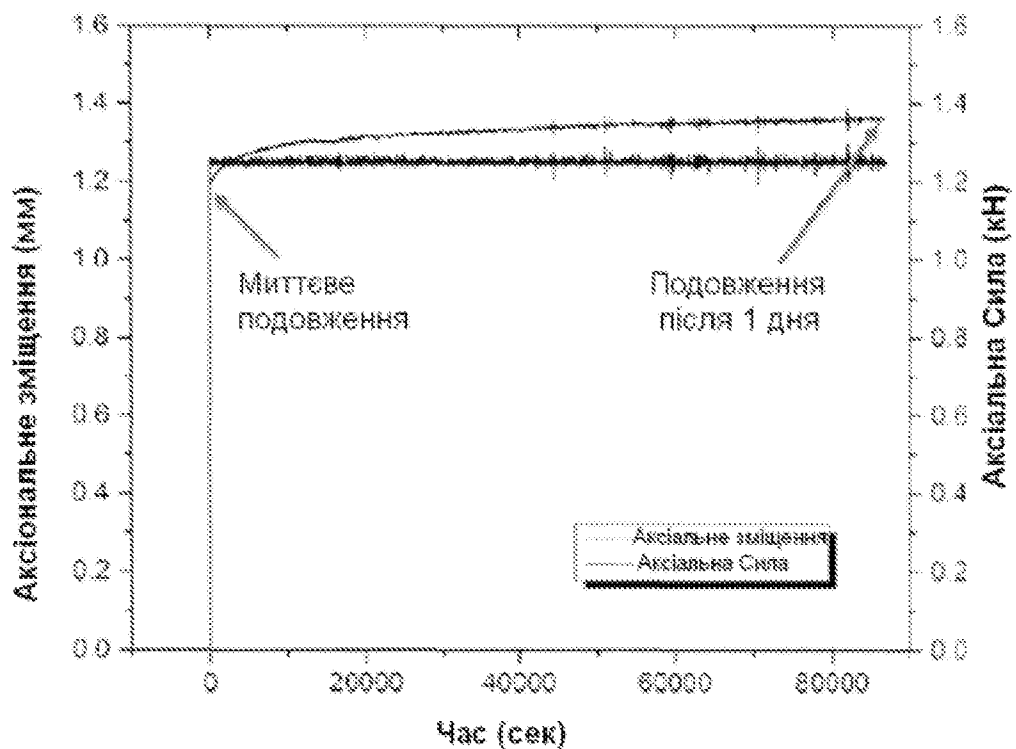


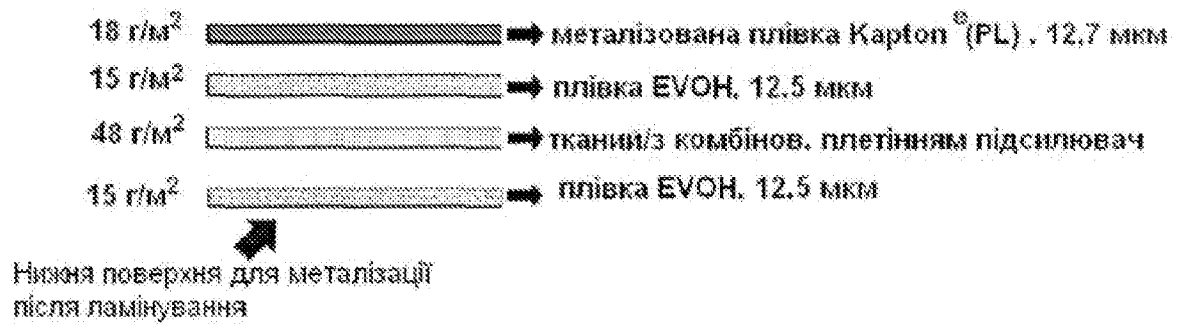
Fig. 11



Фіг. 12



Фіг. 13



Фіг. 14

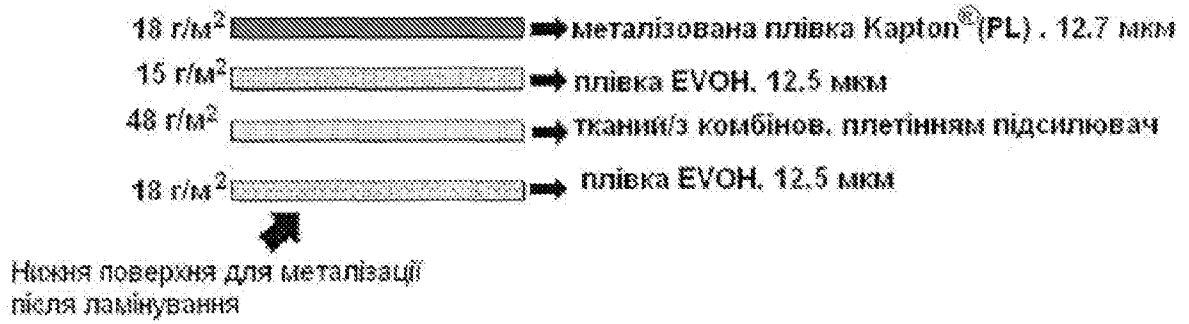


Fig. 15

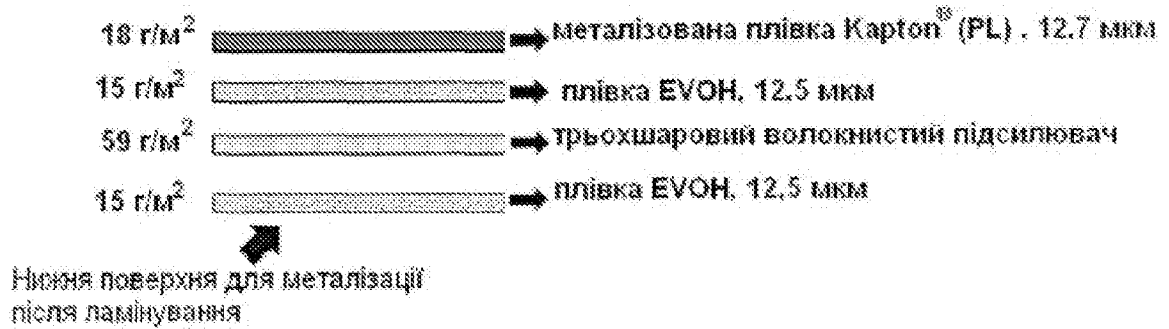


Fig. 16

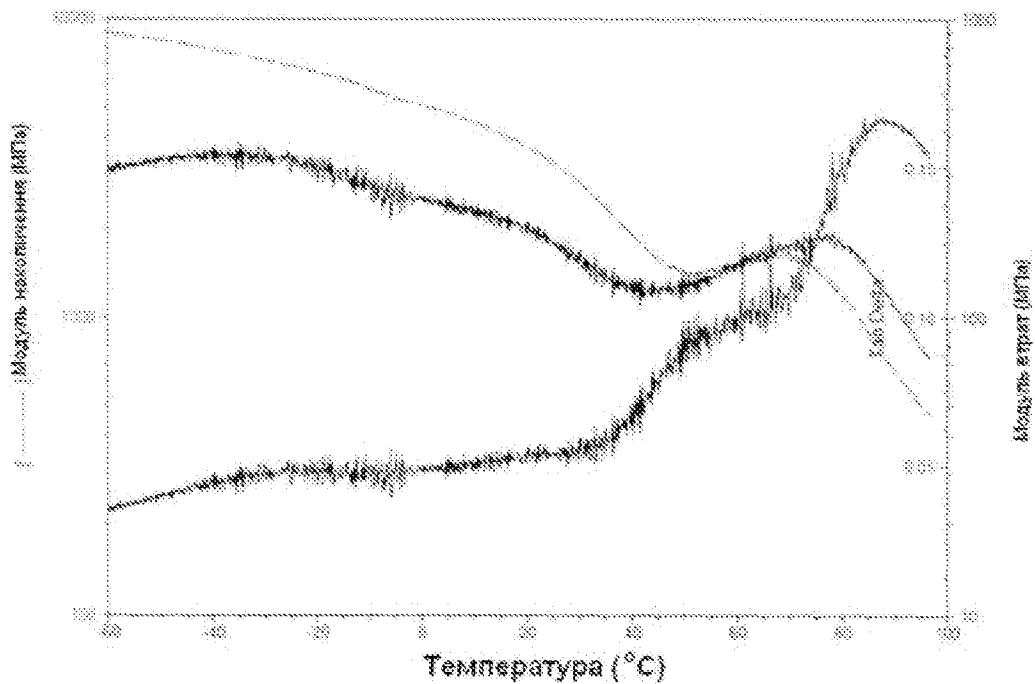


Fig. 17a

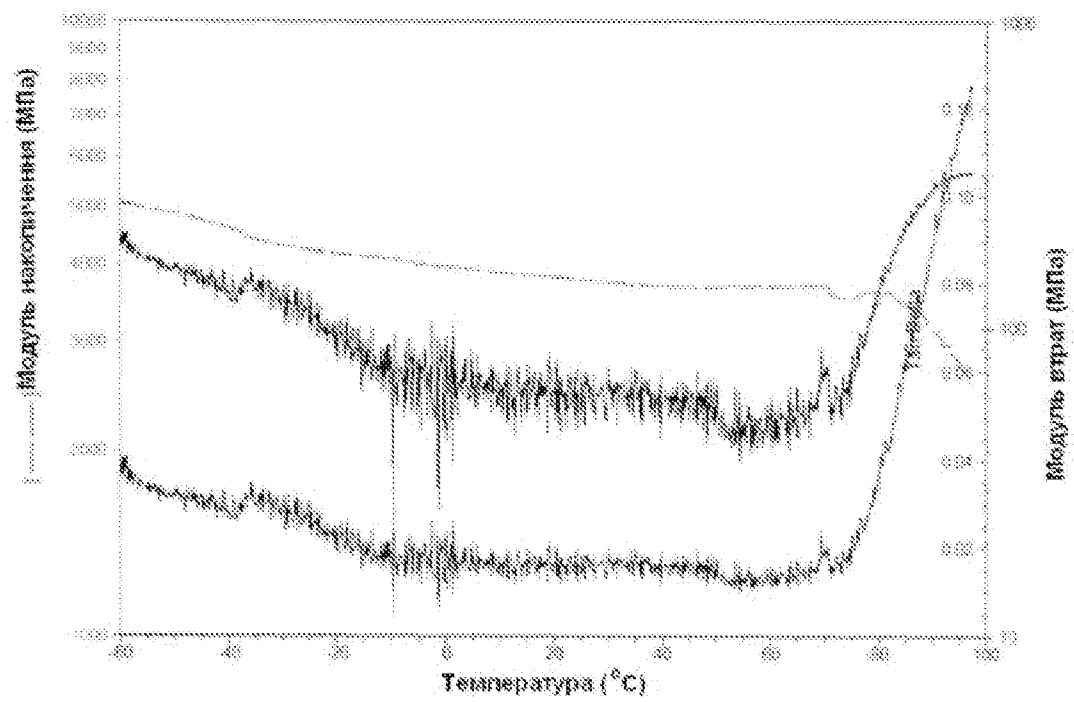


Fig. 17b

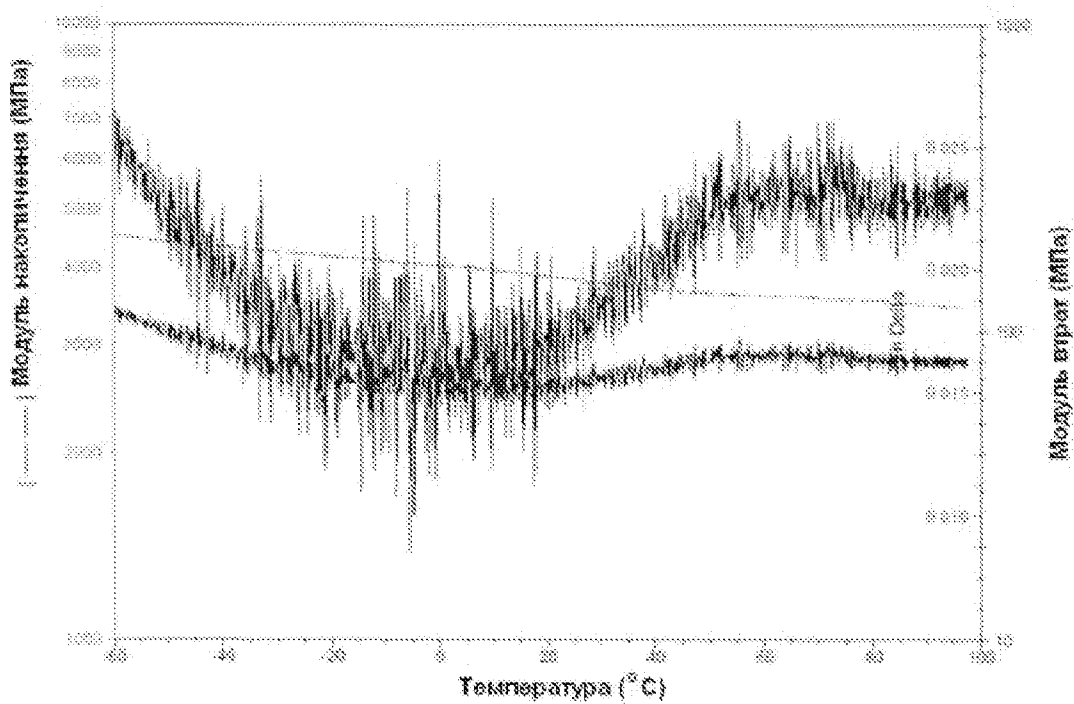
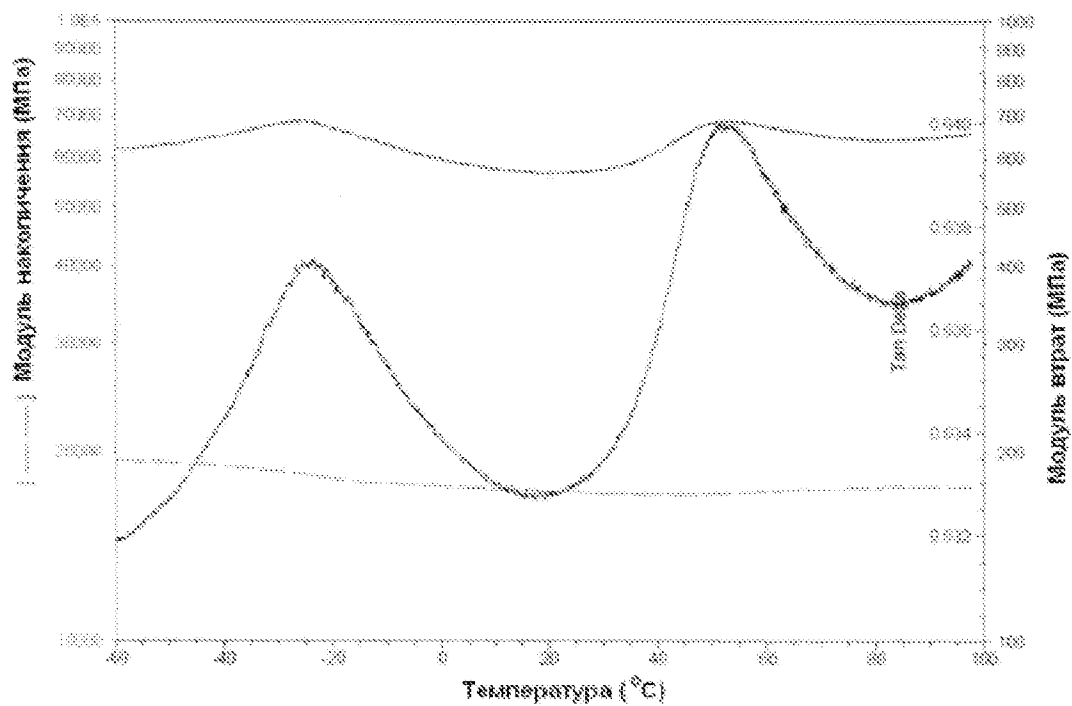


Fig. 17c



Фіг. 17d