

Дана заявка базується на попередній заявці на патент США 60/373 653, поданій 18 квітня 2002, і заявляє пріоритет даної заявки відповідно до Розділу 35 Кодексу законів США, §119(e), і статті 8 PCT, при цьому зміст вказаної заявки включений у даний опис у всій своїй повноті як посилання.

Даний винахід відноситься до створення конструкції перфорованої обшивки для застосування керування ламінарним потоком за допомогою відсмоктування повітря з примежового шару.

У даній галузі техніки широко відомо, що на умови ламінарної течії примежового шару текучого середовища, яке обтікає поверхню тіла, можуть впливати різні пристрої. Крім того, відомо, що стабілізація умов ламінарної течії примежового шару може забезпечити зменшення виникаючого у результаті поверхневого тертя між текучим середовищем і тілом. Це особливо відноситься, наприклад, до галузі конструювання літальних апаратів, в якій поліпшення умов ламінарної течії примежового шару і виникаюче у результаті менше поверхневе тертя можуть привести до потенційної економії палива при роботі літального апарату.

З цих причин застосування поверхневого відсмоктування через пористу або перфоровану поверхню для стабілізації ламінарного примежового шару текучого середовища, що протікає по або відносно поверхні, широко вивчалось протягом багатьох десятиріч. Застосовні до літаків цивільної авіації відомі пристрої керування ламінарною течією, як правило, повинні працювати з максимальною ефективністю тільки за одних умов, а саме за умов польоту на крейсерській швидкості, і, таким чином, призначені, насамперед, для цього робочого режиму. Переважним вважалося застосування поверхневого відсмоктування за допомогою спеціально перфорованої поверхні, а не пористої поверхні, внаслідок регулювання характеристик поверхні, яке може бути забезпечене за рахунок спеціального утворення перфораційних отворів, наприклад, із заданими розмірами, схемами розташування і відстанями між ними. Відомо утворення таких перфораційних отворів за допомогою свердління при механообробці, травлення, прощиття отвору електронним променем або прощиття отворів лазерним променем. Типові звичайні конструкції перфораційних отворів дозволяють одержати перфораційні отвори, які являють собою по суті малі отвори з круглими формами у плані або круглими формами перерізу, з діаметром, який значно менше товщини примежового шару, який обтікає поверхню. Типові діаметри перфорацій або отворів звичайно знаходяться у діапазоні від 50 до 100мкм. Типові звичайні відстані між сусідніми перфораційними отворами знаходяться у діапазоні від 200 до 5000мкм.

Відповідно до відомого рівня техніки отвори або перфорації, як правило, передбачені зі схемами їх розташування, які є правильними і просторово повторюваними або аналогічними (наприклад, по суті інваріантними відносно перенесення) на великих ділянках поверхні. Прикладами таких схем розташування є шахові конфігурації або сітки лінійних рядів отворів по суті з рівною відстанню між сусідніми отворами у кожному ряді і по суті однаковою відстанню від ряду до ряду. Щільність перфораційних отворів, як правило, є постійною для зручності механічної обробки і т.п., але розглядалися переваги пористості, що просторово змінюється. Наприклад, у патенті США 5263667 (Horstman) описана прямолінійна схема розташування перфораційних отворів з щільністю перфораційних отворів, що просторово змінюється, виконана з метою забезпечення по суті постійної швидкості відсмоктування у зоні зовнішнього тиску, що змінюється.

Вказані нижче патенти США також по суті відносяться до галузі керування примежовим шаром шляхом відсмоктування: 5884873, 5899416, 6050523, 6216982 і 6415510.

Всі відомі схеми розташування перфораційних отворів, описані у роботах, що відносяться до відомого рівня техніки, є загальними у тому значенні, що вони не визначаються виходячи з якої-небудь інформації, що відноситься до конструкції, форми, параметрів течії або особливо нестійкостей течії примежового шару, який обтікає перфоровану поверхню, і не відображають і не містять подібної інформації. Оскільки зменшення і усунення таких нестійкостей течії являє собою головну задачу системи керування ламінарною течією у тому вигляді, як вона була осмислена і розроблена автором даного винаходу, було встановлено, що всі вже існуючі або запропоновані схеми розташування перфораційних отворів звичайних систем поверхневого відсмоктування дають або неефективні, або такі, що приводять до порушення функцій, результати керування ламінарною течією. Основна причина такої неефективності обумовлена фізичними процесами, що визначають нестійкість примежового шару.

Як відомо фахівцям у даній галузі техніки, течії у примежовому шарі, що розвиваються над стрілоподібним крилом, стрілоподібним вертикальним стабілізатором або стрілоподібним горизонтальним стабілізатором літального апарату, мають три складові швидкості і тому названі тривимірними течіями у примежовому шарі. У той час як на перехід ламінарної течії у турбулентну в двовимірних примежових шарах переважний вплив здійснюють біжучі хвилі, відомі як Tollmien-Schlichting-хвилі (TS-хвилі), тривимірні примежові шари відрізняються високою нестійкістю по відношенню до вихорів сталого поперечного потоку (CF вихори), які здійснюють переважний вплив на процес переходу ламінарної течії у турбулентну в умовах тривимірного потоку.

Експерименти показали, що відсмоктування за допомогою звичайної схеми розташування перфораційних отворів у тривимірному примежовому шарі має два протилежних ефекти, а саме: ефект стабілізації завдяки зміні профілю середніх швидкостей і ефект порушення стійкості внаслідок збудження вихорів сталого поперечного потоку через зміни і нерівномірності розподілу відсмоктування. У зв'язку з цим див. роботу Н. Bippes (1999) "Basic experiments on transition in 3D boundary layers dominated by crossflow instability", *Progress in Aerospace Sciences* 35: 363-412, і роботу D. Arnal, A. Seraudie, J.P. Archambaud "Influence of surface roughness and of suction on the receptivity of a swept-wing boundary layer", *Laminar-Turbulent Transition, IUTAM Symposium, Sedona AZ, Sept. 13-17, 1999, Springer, 2000*. Також було встановлено шляхом дослідження, що існує чітке обмеження ступеня відсмоктування, яке може бути використане для тривимірних примежових шарів, при виході за межі якого течія поблизу кожного отвору стає досить "спотвореною", щоб примусити "потік піддатися негайному і безповоротному переходу до турбулентності. Даний ефект називається "надмірним відсмоктуванням". У зв'язку з цим див. роботу P. Wasserman і M. Kloker "DNS-investigations of the development and control of cross-flow vortices in a 3-D boundary-layer flow", *Laminar-Turbulent Transition, IUTAM Symposium, Sedona AZ, Sept. 13-17, 1999, Springer, 2000*.

При будь-якому ступені відсмоктування схема розташування отворів здійснює переважний вплив на нерівномірність розподілу відсмоктування. Для значень відсмоктувальної сили нижче рівня "надмірного відсмоктування" автор даного винаходу раніше навіть формулу для визначення складових хвильового числа розподілу отворів по поверхні, які є найбільш дієвими при стимулюванні нестійких станів примежового шару. Див. роботу F.P. Bertolotti (2000), "Receptivity of three-dimensional boundary layers to localized wall roughness and suction", Phys. Fluids, Vol.12, Number 7, P.1799-1809. У більшості звичайних випадків відстань між сусідніми отворами менша найменшої довжини хвилі посиленних збурень. Теоретичні результати, одержані при припущенні про ідеально рівномірний розподіл відсмоктування біля стінки у просторі, показують, що як Tollmien-Schlichting-хвилі, так і вихори поперечного потоку у сильній мірі стабілізуються за рахунок відсмоктування, на відміну від зазначених вище експериментальних одержаних даних. Причину вбачають у змінах або нерівномірності фактичного розподілу відсмоктування в експериментах внаслідок різних явищ, які приводять до небажаних і несприятливих змін картини розподілу відсмоктування. А саме, автор даного винаходу вважає, що наступні явища приводять до появи таких небажаних і несприятливих змін у картині розподілу відсмоктування:

- a) немінучі неточності і допуски при прошитті отворів або механічній обробці, які дуже сильно впливають на загальну ефективність керування ламінарною течією;
- b) забивання перфораційних отворів забруднюючою речовиною або речовиною у вигляді частинок під час роботи;
- c) блокування перфораційних отворів конструкцією, що служить опорою перфорованій обшивці;
- d) нерівномірність відсмоктування у внутрішніх камерах відсмоктувача, що забезпечують прикладення відсмоктувальної сили до перфорованої обшивки;
- e) зміни зовнішнього тиску у напрямі хорди; і
- f) спотворення течії поблизу перфораційного отвору внаслідок великих швидкостей відсмоктування.

Серед зазначених вище явищ явища, вказані під пунктами a), b) і c), приводять до змін геометричних характеристик перфораційних отворів, у той час як явища, вказані під пунктами d), e) і f), викликають зміни відсмоктувальної сили і умов течії. Всі ці явища приводять до небажаних змін картини відсмоктування. Крім того, дані явища можуть мати наслідки, що "взаємодіють" один з одним. Наприклад, коли використовується тільки одна камера відсмоктувача або тільки невелика кількість камер відсмоктувача під перфорованою обшивкою, явище e) сильно впливає на перепад тисків на обшивці і може привести до виникнення "надмірного відсмоктування" у деяких місцях, що приводить до спотворень потоку відповідно до явища f).

З врахуванням викладеного вище задачею винаходу є досягнення наступних цілей окремо або у поєднанні:

забезпечити форму перфораційного отвору і схему розподілу перфораційних отворів для пристрою керування ламінарною течією, в якому використовується відсмоктування, які дозволяють подолати шкідливі або негативні наслідки наступних явищ:

- a) немінучих помилок прошиття отворів або механічної обробки;
- b) забивання перфораційних отворів;
- c) блокування конструкцією, що служить опорою перфорованій обшивці;
- d) нерівномірного відсмоктування у внутрішніх камерах відсмоктувача; і
- e) спотворень потоку поблизу перфораційного отвору внаслідок великих швидкостей відсмоктування;

забезпечити конструкцію перфорованої обшивки, яка компенсує зовнішні зміни зовнішнього тиску у напрямі хорди;

забезпечити конструкцію перфорованої обшивки, яка володіє конструктивною жорсткістю і дозволяє уникнути значного послаблюючого впливу перфораційних отворів; і

забезпечити конструкцію перфорованої обшивки, яка має високу теплопровідність.

Крім того, метою винаходу є уникнення або подолання недоліків конструкцією за відомим рівнем техніки і забезпечення додаткових переваг, які очевидні з даного опису, формули винаходу, реферату і креслень.

Згадані вище цілі були досягнуті відповідно до винаходу за допомогою пристрою керування ламінарною течією, що включає в себе перфоровану обшивку, виконану з численними перфораційними отворами, розташованими у вигляді схеми, що має просторовий спектр по суті з відсутністю енергії на заздалегідь заданих довжинах хвиль. Вираз "по суті з відсутністю енергії" потрібно розуміти застосовно до додаткової максимальної енергії, що перевищує середній фоновий енергетичний рівень "шумів", який виникає через немінучі неточності механічної обробки і т.п. Переважно, вказані заздалегідь задані довжини хвиль являють собою довжини хвиль із заздалегідь заданих нестійкостей потоку і особливо найбільш нестабільних збурень, які виникають у примежовому шарі, що обтікає перфоровану обшивку, зокрема при розрахункових умовах роботи пристрою керування ламінарною течією, таких як умови польоту літального апарату на крейсерській швидкості для відповідного літального апарату.

Переважний варіант здійснення або вигляд винайденої схеми розташування і форми перфораційних отворів включає в себе множину перфорованих зон, що простягаються у подовжньому напрямі, або груп рядів перфораційних отворів, які розташовані на визначеній відстані один від одного і які тут названі "пучками (рядів)". Найбільш переважно, якщо ці пучки, що проходять у подовжньому напрямі, вирівняні по суті паралельно (наприклад, у межах 10° - переважно 5° від паралелі) до переднього краю поверхні, виконаної з перфораційними отворами, наприклад, перфорованої обшивки аеродинамічного профілю. Вираз "по суті паралельно" також допускає невелику збіжність пучків один відносно одного від кореневої частини до кінцевої частини аеродинамічного профілю, наприклад, у напрямі звуження аеродинамічного профілю. Пучки відділені один від одного у поперечному напрямі неперфорованими зонами.

Кожний пучок включає в себе множину перфораційних отворів, розташованих так, щоб забезпечити просторовий спектр кожного відповідного пучка, який має зменшену енергію або переважно позбавлений енергії (понад загальний або середній енергетичний рівень "шумів") при заздалегідь заданих довжинах хвиль. Це особливо досягається шляхом розміщення перфораційних отворів заданого пучка так, щоб збурення у

потоків, які створюються внаслідок відсмоктування через декілька перфораційних отворів з пучка, взаємно гасили один одне або, щонайменше, приводили до взаємного послаблення один одного за рахунок інтерференції з взаємним послабленням при цих заздалегідь визначених довжинах хвиль. Переважно дані довжини хвиль являють собою довжини хвиль найбільш нестійких збурень, що виникають у примежовому шарі, який обтікає перфоровану обшивку. Переважно кожний перфораційний отвір має форму подовженої мікрощілини, яка має ширину у діапазоні від 50 до 250 мкм і довжину у діапазоні від 100 до 3000 мкм.

Відповідно до додаткової ознаки варіанту здійснення винаходу пристрій керування ламінарною течією додатково включає в себе підтримуючу конструкцію, яка розташована під перфорованою зовнішньою обшивкою і служить їй опорою. Підтримуюча конструкція переважно конструктивно об'єднана із зовнішньою перфорованою обшивкою, наприклад, приєднана до зовнішньої перфорованої обшивки, тільки у неперфорованих зонах поверхні між відповідними пучками рядів перфораційних отворів. В особливо переважному варіанті здійснення підтримуюча конструкція включає в себе подовжні нервюри, що проходять паралельно до сусідніх пучків. Відповідно до додаткової переважної ознаки винаходу підтримуюча конструкція додатково включає в себе внутрішній перфорований елемент, такий як перфорований внутрішній пластиноподібний елемент, конструктивно об'єднаний з нервюрами внизу і розташований на визначеній відстані від перфорованої зовнішньої обшивки для утворення камер, відповідно обмежених перфорованою зовнішньою обшивкою, сусідніми парами нервюр і внутрішнім перфорованим елементом. Внутрішній перфорований елемент має другі перфораційні отвори, які дозволяють утворити внутрішню поверхню із заздалегідь заданою і змінюваною пористістю для компенсації змін зовнішнього тиску і тим самим забезпечити задану швидкість відсмоктування через перфоровану поверхню обшивки у всіх місцях у напрямі хорди. Зокрема, відсмоктувальна сила буде прикладена до сторони внутрішнього перфорованого елемента, протилежної по відношенню до зовнішньої перфорованої обшивки, так, щоб прикласти відсмоктувальну силу до камер, що, у свою чергу, приводить до прикладення відсмоктувальної сили до основних перфораційних отворів перфорованої зовнішньої обшивки. І внутрішній перфорований елемент, і зовнішня перфорована обшивка з'єднані(-а) з нервюрами будь-яким придатним чином, але переважно вони можуть бути виконані за одне ціле, наприклад, шляхом екструзії у вигляді цілісного елемента.

Для забезпечення можливості більш чіткого розуміння винаходу він буде описаний далі у зв'язку з наведеними як приклад варіантами здійснення з посиланням на супровідні креслення, в яких:

Фіг.1 являє собою схематичний вигляд у перспективі частини передньої кромки аеродинамічного профілю, виконаного відповідно до винаходу, що показує систему координат, яка використовується для відліку;

Фіг.2 являє собою діаграму стійкості, що показує залежність хвильового числа у напрямі вздовж розмаху крила від довжини дуги вздовж поверхні аеродинамічного профілю типового літального апарату при польоті на крейсерській швидкості;

Фіг.3 являє собою графік, що показує дисперсійне співвідношення хвильових чисел у вибраних місцях у напрямі хорди у зв'язку з прикладом за Фіг.2;

Фіг.4 являє собою схематичний вигляд у плані, що показує типову звичайну перфорацію або отвір, що має круглу форму, а також типовий перфораційний отвір у вигляді мікрощілини відповідно до винаходу, який має подовжену форму;

Фіг.5 являє собою графічне зображення амплітуд швидкості для трьох наведених як приклад схем розташування відсмоктувальних перфораційних отворів, а саме для одного ряду звичайних отворів у випадку (а) і випадку (б) і одного ряду мікрощілин за винаходом у випадку (с);

Фіг.5А показує результати перетворення Фур'є для трьох схем розташування відсмоктувальних перфораційних отворів, пов'язаних з Фіг.5;

Фіг.6 являє собою схематичний вигляд у плані одного пучка або подовжньої смужки з декількох рядів мікрощілин відповідно до винаходу, також показаної на збільшеному зображенні, з довгою віссю мікрощілин, яка співпадає з подовжнім напрямом пучка;

Фіг.6А являє собою вигляд, аналогічний вигляду за Фіг.6, але такий, що показує мікрощілини з їх довгими осями, орієнтованими під заздалегідь заданим косим кутом непаралельно і неперпендикулярно по відношенню до подовжнього напрямку пучка;

Фіг.6В являє собою додатковий вигляд, аналогічний виглядам за Фіг.6 і 6А, але такий, що показує розташування круглих мікроотворів відповідно до просторової схеми розташування згідно з винаходом;

Фіг.7 являє собою тривимірне графічне зображення результату подвійного перетворення Фур'є для спектра, що створюється одним пучком рядів мікрощілин відповідно до винаходу, подібним до показаного на Фіг.6;

Фіг.7А являє собою графічне зображення, аналогічне графічному зображенню за Фіг.7, але таке, що показує результат подвійного перетворення Фур'є для спектра, що створюється одним пучком рядів мікрощілин, орієнтованих відповідно до Фіг.6А;

Фіг.8 являє собою тривимірне графічне зображення, що показує просторовий спектр звичайної схеми розташування і розподілу відсмоктувальних отворів, подібних до показаних на вигляді у плані у верхній частині фігури;

Фіг.9 являє собою діаграму спектра, по суті відповідну Фіг.7А, для визначених наведених як приклад параметрів перфораційних отворів, що відносяться до схеми розташування перфораційних отворів у вигляді мікрощілин відповідно до винаходу, яка показана на вигляді у плані у верхній частині фігури;

Фіг.10 являє собою схематичний вигляд у перспективі частини зони передньої кромки аеродинамічного профілю літального апарату, що має множину паралельних розташованих на визначеній відстані один від одного пучків рядів мікрощілин, при цьому мікрощілини розташовані з різною орієнтацією у різних місцях у напрямі хорди, а саме відповідно розташовані по суті перпендикулярно до локальної орієнтації лінії обтікання потенційного потоку у кожному місці у напрямі хорди, як показано на збільшених докладних зображеннях фігури;

Фіг.11 являє собою схематичний переріз частини конструкції аеродинамічного профілю за винаходом, що

включає в себе зовнішню перфоровану обшивку і підтримуючу конструкцію, яка включає в себе подовжні нервюри; і

Фіг.12 являє собою схематичний місцевий вигляд у перспективі з розрізом, аналогічний вигляду за Фіг.11, але такий, що показує інший варіант здійснення конструкції аеродинамічного профілю відповідно до винаходу, що додатково включає в себе перфорований внутрішній пластинчатий елемент для компенсації тиску.

Винахід далі буде описаний у зв'язку з прикладом, що відноситься до аеродинамічного профілю, такого як вертикальний стабілізатор або основне несуче крило літального апарату, які являють собою високоефективні і переважні зони застосування винаходу. Як база для подальшого розгляду Фіг.1 схематично показує базову геометрію типового аеродинамічного тіла 40, такого як частина аеродинамічного профілю несучого крила або т.п. літального апарату. Аеродинамічне тіло 40 має зовнішню обшивку 100 і передню кромку 50. Коли це аеродинамічне тіло 40, або особливо аеродинамічний профіль 40, рухається крізь повітря, вільний повітряний потік стикається з аеродинамічним тілом 40 і "ковзає" по аеродинамічному тілу 40, тим самим створюючи повітряний потік примежового шару над зовнішньою обшивкою 100. Аеродинамічне тіло 40 і, зокрема, його передня кромка 50 розташована під кутом прямої стрілоподібності відносно напрямку вільного повітряного потоку, і, отже, повітряний потік приєднується вздовж передньої кромки 50 з утворенням лінії 62 обтікання прямолінійної форми, що проходить паралельно передній кромці.

Для відліку на Фіг.1 додатково показана система координат, в якій "z" означає напрям вздовж передньої кромки (напряму вздовж розмаху крила) і "x" означає напрям, перпендикулярний до передньої кромки (напряму по хорді). Внаслідок прямої стрілоподібності, згаданої вище, лінії обтікання повітряного потоку за межами примежового шару (потенційного потоку), які "відштовхуються" від лінії 62 приєднання безпосередньо вздовж передньої кромки 50, створюють криволінійну траєкторію потоку, показану кривою пунктирною лінією 60.

На картині потоків також показаний посилений, вихор поперечного потоку з хвильовим вектором k , локально орієнтованим по суті перпендикулярно до криволінійної траєкторії лінії 60 вільного обтікання. Цей хвильовий вектор k складається зі складової з хвильовим числом β у напрямі z вздовж розмаху крила і складової з хвильовим числом a_r у напрямі x хорди. Для кожної величини β величина a_r задається хвильовим дисперсійним співвідношенням, яке може бути визначене експериментально або шляхом обчислень звичайним відомим чином для відповідних умов течії [параметрів потоку] у кожному відповідному місці у напрямі хорди заданого аеродинамічного профілю.

Виходячи з цих базових моментів і міркувань, розглянутих у зв'язку з Фіг.1, основні відмітні ознаки винаходу спочатку будуть теоретично розроблені у наведеному нижче описі, і потім будуть описані визначені конкретні приклади і випадки їх застосування.

На Фіг.2 і 3 показані відповідні зони стійких і нестійких довжин хвиль у напрямі вздовж розмаху крила і хвильові числа для вихорів сталого поперечного потоку в залежності від місця у напрямі хорди (тобто довжини дуги вздовж поверхні аеродинамічного профілю) для випадку польоту типового, наведеного як приклад крила літального апарату на крейсерській швидкості і висоті. Фактичні числові значення наведені тільки як типовий приклад і є другорядними за важливістю для ідей і процедур, які повинні бути описані. Таким чином, більш точно, на Фіг.2 показана діаграма стійкості для збурень сталого поперечного потоку в залежності від хвильових чисел β потоку у напрямі вздовж розмаху крила відносно місць x/c у напрямі хорди поряд з передньою кромкою 50. Також показана виражена у міліметрах довжина хвилі коливань сталого поперечного потоку. У даному прикладі хвильове число β коливання сталого поперечного потоку у напрямі вздовж розмаху крила залишається по суті постійним, коли він поширюється далі по ходу течії, у той час як його хвильове число a_r у напрямі хорди змінюється так, що хвильовий вектор k залишається по суті нормальним (у межах 5-10°) до лінії 60 обтікання вільного потоку (див. Фіг.1). На Фіг.3 показані дисперсійні співвідношення між β і a_r у вибраних місцях нижче по ходу течії. Фіг.2 і 3 спільно надають інформацію про хвильові числа, необхідну для створення конструкції за даним винаходом.

Як було у загальних рисах розглянуто вище, неточності або допуски при прошитті отворів і механічній обробці, а також забивання перфораційних отворів здійснюють істотний вплив на спектр, тобто на розподіл довжин хвиль характеристик відсмоктуваної частини потоку навколо перфораційних отворів. Для демонстраційного прикладу, що наводиться у даному описі, призначеного для ілюстрації даних ефектів, прийняті наступні досить звичайні допуски: прошиття отворів ± 15 мкм і розміщення центрів отворів ± 20 мкм. Крім того, на основі огляду перфорованої обшивки після використання як в аеродинамічній трубці, так і при застосуванні літального апарату, було встановлено, що велика кількість отворів виявляється засміченою матеріалом у вигляді макрочастинок і забруднюючими частинками. Для даного прикладу прийняті звичайні рівні засміченості від 10 до 14% (тобто від 1 на 10 отворів до 1 на 7 отворів виявляються забитими).

Наявність цих допусків на механічну обробку, а також забивання приводять до змін у розподілі відсмоктування при всіх довжинах хвиль. Оскільки енергія при даних довжинах хвиль пропорційна максимальній швидкості відсмоктування через отвір або перфораційний отвір, найпростіший спосіб зменшення негативного впливу неточностей при прошитті отворів полягає у збільшенні загальної пористості і тим самим зменшенні максимальної швидкості відсмоктування для заданого сумарного відсмоктуваного повітряного потоку. Що стосується забивання, то використання щілин замість круглих отворів приводить до зниження гостроти проблеми забивання, але подовжені щілини або пази, що мають значну довжину, здійснюють шкідливий вплив і, як правило, неприйнятні, оскільки вони приводять до істотного зниження здатності зовнішньої обшивки витримувати напруження.

Винахід дозволяє подолати згадані вище проблеми шляхом використання "мікрощілин" або "мікропазів" 200 (див. Фіг.4). Мікрощілини 200 за винаходом мають по суті витягнуту форму у плані з довжиною приблизно 250мкм і шириною приблизно 70мкм у даному прикладі. Як правило, мікрощілини відповідно до винаходу можуть мати довжину у діапазоні від 100 до 3000мкм, більш переважно - фактичну максимальну довжину 500мкм і переважну максимальну довжину від 200 до 300мкм, і ширину у діапазоні від 50 до 250мкм і переважну ширину - біля нижньої межі даного діапазону, наприклад, ширину, що складає не більше 100 або не

більше 80мкм. Загальна пористість, тобто співвідношення площі пропускного перерізу отворів до загальної площі поверхні, переважно складає до приблизно 10%, але практично переважно приблизно 5%. У порівнянні з невеликими круглими отворами за відомим рівнем техніки, також показаними на Фіг.4, мікрощілини 200, що переважно використовуються відповідно до винаходу, забезпечують велику площу пропускного перерізу і тому добре підходять для одержання трохи більш високих рівнів пористості, при цьому подовжена форма також робить ймовірність забивання мікрощілин 200 значно меншою у порівнянні з ймовірністю забивання невеликих круглих отворів. З іншого боку, довжина мікрощілин обмежена для уникнення істотного зниження здатності перфорованої зовнішньої обшивки витримувати навантаження, яке мало б місце при більш довгих щілинах.

При подальшій розробці даного прикладу оптимізована схема розташування перфораційних отворів може бути створена за рахунок того, що спочатку передбачають використання простого єдиного лінійного ряду мікрощілин 200, при цьому довга вісь кожної мікрощілини 200 вирівняна відносно подовженого напрямку, в якому проходить ряд. Альтернативні схеми розташування з щілинами, орієнтованими під заздалегідь заданим кутом відносно напрямку 60 локального вільного потоку, переважні поряд з передньою кромкою 50 аеродинамічного тіла 40 (як буде додатково розглянуто нижче у зв'язку з Фіг.6 і 6А) і у випадках високих рівнів відсмоктування. У даному найбільш простому прикладі в єдиному ряді мікрощілин відстань між послідовно розташованими мікрощілинами складає 400мкм, що створює періодичну картину з періодичним інтервалом 650мкм (тобто утвореним з довжини мікрощілини, яка складає 250мкм, і відстані між мікрощілинами у подовженому напрямі, що складає 400мкм). Дана періодичність фізичної картини розташування перфораційних отворів приводить до визначеного спектрального розподілу фізичної картини, а також збурень потоку, що створюються нею, як буде розглянуто далі.

На Фіг.5 і 5А наведено порівняння спектрів швидкостей відсмоктування для трьох рядів перфораційних отворів, які всі мають однаковий сумарний або середній потік маси. На Фіг.5 показане схематичне зображення амплітуд швидкостей потоку відповідно для трьох рядів перфораційних отворів (а), (b) і (с). Ряд (а) з посилальною позицією 700 являє собою ряд отворів діаметром 50мкм зі звичайною геометрією отворів, розташованих на відстані 0,5мм один від одного, з ймовірністю забивання, що складає 15%, і максимальною швидкістю 1. Іншими словами, незасмічені отвори дають швидкість потоку, що дорівнює 1, у той час як засмічені отвори не дають ніякої швидкості потоку, тобто швидкість потоку дорівнює 0. Ряд (b) з посилальною позицією 702 являє собою ряд таких же отворів, що і у ряді (а) 700, зі звичайною геометрією отворів, але з нульовою ймовірністю забивання, тобто без яких-небудь засмічених отворів. Ряд (с) з посилальним номером 730 являє собою ряд мікрощілин відповідно до даного прикладу здійснення винаходу, що характеризуються відсутністю забивання і максимальною швидкістю 0,26 для кожного отвору. Потрібно зазначити, що більший розмір мікрощілини у порівнянні зі звичайними отворами приводить до одержання тієї ж сумарної масової швидкості повітряного потоку з меншою максимальною швидкістю для кожного перфораційного отвору. Дані результати були одержані шляхом усереднення 1000 конфігурацій, кожна з яких мала задані випадковим чином рівні забивання, виражені у відсотках, і допуски на обробку у межах їх допустимого діапазону.

Фіг.5А являє собою графік, що показує результат перетворення Фур'є для спектрів хвильових чисел β профілів потоків, що створюються відповідними рядами 700, 702 і 730, при цьому відповідні спектри позначені відповідними посилальними позиціями 700', 702', 730'. Як можна бачити, спектр 730' мікрощілин дає приблизно триразове зменшення амплітуди при всіх хвильових числах у порівнянні зі звичайною геометрією (b) 702'. Це зменшення обумовлене більш низькою максимальною швидкістю потоку через щілини. Більш важливе те, що мікрощілини забезпечують 30-50-разове зменшення амплітуди по суті при всіх хвильових числах у порівнянні зі звичайною конфігурацією (а) 700', яка у більшій мірі характерна для реальних звичайних перфорованих пластин із засміченням. Таким чином, мікрощілини дозволяють істотно мінімізувати вплив допусків на проширтія отворів і обробку, а також забивання.

Проте, це зменшення було досягнуте у даному прикладі за рахунок введення великого піка 732' амплітуди ($\beta=9,66$ 1/мм) у межах смуги зони посиленних нестійких режимів поперечного потоку, позначеної сірою зоною на фігурі. Через цей пік просте, або правильне, розташування рядів мікрощілин приводить до гірших робочих характеристик у порівнянні зі звичайною схемою розташування, у якій перший великий пік знаходиться поза посиленою зоною. Саме такий небажаний пік 732' може бути і буде "видалений" або "знищений" за рахунок інтерференції з взаємним послабленням відповідно до винаходу, як буде розглянуто нижче. Потрібно зазначити, що розміщення мікрощілин ближче одна до одної, наприклад, з періодичними інтервалами 0,5мм, приведе до зміщення піка 732' амплітуди тільки за межу посиленого діапазону. У той час як цей інтервал являє собою опцію у даному прикладі (і при подальших діях також використовується даний інтервал), існують інші випадки застосування ламінарної течії, в яких дана опція недоступна. Для демонстрації універсальності і високої ефективності методу і пристрою за винаходом винайдена схема розташування перфораційних отворів, що дає високі показники роботи, далі буде розроблена з вибраним інтервалом.

При використанні основної ідеї даного винаходу, а саме того, що повний результуючий спектр всієї схеми розташування отворів повинен мати по суті малу енергію, якою можна знехтувати (понад базовий рівень "шумів"), при хвильових числах збурень нестійкої течії, потенційно шкідливий вплив піка 732' при $\beta^+=9,66$ 1/мм буде усунений за рахунок спеціального введення іншого збурення течії за допомогою іншого ряду мікрощілин зі складовою спектра, яка буде інтерферувати з взаємним посиленням з небажаним піком 732' при відповідній довжині хвилі. Це здійснюється за допомогою створення групи рядів мікрощілин, яка називається тут "пучком" 250, таким чином, що загальна геометрія всіх пучків, піддана перетворенню Фур'є, по суті не буде мати ніякої результуючої амплітуди (наприклад, внаслідок інтерференції з взаємним послабленням) при таких, що розглядаються у напрямі течії, хвильових числах a^+ коливань поперечного потоку з хвильовим числом $\beta=\beta^+$ у напрямі вздовж розмаху крила. Потрібно зазначити, що якщо найбільш посилені коливання являли собою біжучу хвилю, то було вибрано значення a_r , що відповідає даному типу коливань. Даний винахід не обмежений сталими типами поперечних потоків.

На Фіг.3 показано, що при виборі $x/c=0,0076$ для даного прикладу, $\beta^+=9,66$ відповідає $a_r^+=6,4$ 1/мм. Далі, утворюючи пучок 250 з невеликого числа N рядів мікрощілин, наприклад, з восьми рядів, розташованих по суті

поблизу у напрямі хорди, і приймаючи точне місцеположення x_n у напрямі течії і фазу φ_n у напрямі вздовж розмаху крила (і можливо ширину r_n) кожного ряду як невідомі, які мінімізують квадрат функції перетворення, [одержуємо]:

$$\varepsilon(\{x_n\}, \{\varphi_n\}, \{r_n\}) = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} F(\alpha) F^*(\alpha) d\alpha \quad (1)$$

$$F(\alpha) = \sum_{n=1}^N e^{i\varphi_n - i\alpha x_n} \left[\frac{\sin(r_n \alpha)}{\alpha} \right] \quad (2)$$

в інтервалі $\alpha_1 < \alpha < \alpha_2$ з середнім значенням, що дорівнює приблизно α_r^+ моди коливань поперечного потоку з $\beta = \beta^+$. Функція F являє собою перетворення Фур'є послідовності прямокутних імпульсів тривалістю $2r$, де $2r$ відповідає ширині мікроциліни. Результуюча геометрія для даного випадку, наведеного як приклад, показана на Фіг.6. Ця геометрія не є унікальною і залежить значною мірою від методу оптимізації, що використовується для мінімізації ε . Унікальним є те, що у вибраному інтервалі значень α енергія геометрії одного пучка 250 мінімальна. У даному прикладі протяжність пучка 250 у напрямі хорди складає приблизно 1,75мм. Також можливі інші значення ширини.

Відповідний спектр у площині α - β показаний на Фіг.7. Істотні ("стиснені") піки 1010 і 1012 спектру відповідають піку 732' при $\beta = 9,66$ 1/мм і піку при $\beta = 19$ 1/мм на Фіг.5А, тепер також видимим по координаті α . Темна лінія 1002 показує комбінацію α - β , тобто дисперсійне співвідношення, для нестійких режимів у даному місці x (див. Фіг.3). Вздовж всієї цієї лінії 1002 амплітуда спектральних піків 1010 і 1012 є дуже низькою, що показує, що при вибраному розподілі схеми розташування перфораційних отворів не створюється по суті ніяких коливальних станів поперечного потоку. Потрібно зазначити, що лінія 1002 нестійких режимів проходить через "западину" у гребені або піку 1010 спектра. Дана "западина" утворена за рахунок спеціальної інтерференції з взаємним послабленням при даній комбінації хвильових чисел за допомогою належного проектування і вибору схеми розташування перфораційних отворів, окремі спектральні впливи якої інтерферують один з одним. У даному прикладі, як показано на Фіг.5А і 7, мету винаходу, що полягає у забезпеченні по суті відсутності енергії або малої енергії, якою можна знехтувати, при відповідних вибраних довжинах хвиль, можна, отже, розуміти як таку, що означає, що вздовж лінії 1002 дисперсійного співвідношення у просторі Фур'є відсутні які-небудь піки амплітуди хвильових чисел з величиною амплітуди, яка більш ніж у десять разів (наприклад) перевищує підсумкову середню амплітуду спектрального інтервалу, що двічі перекриває діапазон нестійкості хвильових чисел. Таким чином, на Фіг.5А можна бачити, що пік 732' більш високої неприйнятної амплітуди повинен бути усунений для досягнення мети винаходу.

Більш точно, послідовні позиції 1010 і 1012 позначають складові енергетичних довжин хвиль, що відносяться до визначеної геометрії пучка або схеми розташування перфораційних отворів або виникаючих через визначену геометрію пучка або схему розташування перфораційних отворів. Діапазон значень β , позначений посилальною позицією 1000, охоплює значення β , для яких режими сталих поперечних потоків є нестійкими у місці розташування вибраного пучка, і лінія 1002 зокрема означає відповідне хвильове дисперсійне співвідношення, наприклад, згідно з Фіг.3. Як показано провалом на кривій енергії у складовій 1010 спектра у місці біля перетину з лінією 1002 дисперсійного співвідношення, просторовий спектр даного пучка характеризується по суті відсутністю енергії (понад базовий рівень "шумів") при цій вибраній або заздалегідь визначеній довжині хвилі. Ці заздалегідь задані довжини хвиль вибрані так, щоб вони відповідали довжинам хвиль заздалегідь визначених нестійкостей течії, що виникають у примежовому шарі над відповідним пучком в умовах польоту на крейсерській швидкості. Внаслідок інтерференції з взаємним послабленням відповідно до винаходу таким чином, що при вибраних, заздалегідь визначених довжинах хвиль нестійкостей течії не буде по суті ніякої енергії, вплив відсмоктувальної сили через перфораційні отвори буде приводити до мінімального збудження нестійкостей у течії примежового шару над перфорованою обшивкою.

Як відомо фахівцям у даній галузі техніки, коефіцієнт сприйнятливості (receptivity coefficient) являє собою коефіцієнт, який зв'язує амплітуду просторового спектра розподілу відсмоктування з поверхні з амплітудою просторового спектра збурень у повітряній течії примежового шару, викликаних розподілом відсмоктування. Простота наведеного вище виразу (2) обумовлена припущенням, яке полягає у тому, що коефіцієнт сприйнятливості є постійним на всій протяжності кожного окремого пучка у напрямі хорди, але може варіюватися від пучка до пучка. Ступінь цього наближення стає більш високим у міру зменшення як ширини окремих пучків, так і середньої відсмоктувальної сили. Як правило, для додаткового гарантування того, що відсутність енергії при заздалегідь визначених довжинах хвиль буде мати місце внаслідок інтерференції з взаємним послабленням при даних довжинах хвиль між збуреннями у потоку, що створюється за рахунок відсмоктування через перфораційні отвори, додаткову оптимізацію схеми розташування перфораційних отворів у межах пучка виконують для кожного окремого пучка шляхом використання як норми спектра збурень за пучком по ходу потоку, що одержують внаслідок розв'язання рівнянь руху, при цьому рівняння переважно використовуються у лінеаризованій формі для спрощення обчислень. Оптимізована схема розташування як і раніше буде забезпечувати по суті малу енергію, якою можна знехтувати, при заздалегідь заданих довжинах хвиль. Після оптимізації кожного пучка самого по собі можлива подальша оптимізація загальної картини розташування множини пучків за рахунок зміщення у напрямі вздовж розмаху крила одного або декількох відповідних пучків один відносно одного для забезпечення додаткової інтерференції з взаємним послабленням між будь-якими збуреннями потоку, що залишилися, за кожним пучком по ходу потоку. Іншими словами, у винаході може використовуватися не тільки інтерференція з взаємним послабленням для умов течії, створених відповідними перфораційними отворами даного одного пучка, але також інтерференція з взаємним послабленням між будь-якими збуреннями потоку, що залишаються за даним пучком по ходу потоку, і структурою потоку, що створюється наступними, розташованими далі по ходу потоку пучками або пучком.

Геометрія щілин для іншого варіанту здійснення винаходу, в якому щілини 201 нахилені під заздалегідь заданим кутом відносно напрямку локального вільного потоку і під вибраним косим кутом відносно подовжнього напрямку пучка 250, показана на Фіг.6А. Фіг.7А показує відповідний спектр із заданою відсутністю енергії в інтервалі $\alpha_1 < \alpha < \alpha_2$. Щілини, орієнтовані вздовж напрямку або паралельно до напрямку вільного потоку, створюють найменшу "лобову поверхню" для потоку, що набігає, внаслідок чого вони забезпечують можливість використання більш високого ступеня відсмоктування до того, як буде мати місце "надмірне відсмоктування". Щілини, орієнтовані по суті нормально до лінії потенційного обтікання (безвихрової течії), дають менші довжини хвиль у напрямі потоку. Те, який варіант з двох є переважним, залежить від фактичних параметрів потоку. При великих числах Рейнольдса, отже, при тонких примезових шарах, переважним є останній варіант. При менших числах Рейнольдса переважним є перший варіант. На Фіг.10 показане розташування декількох паралельних пучків 250 біля передньої кромки 50 і поряд з передньою кромкою 50, при цьому кожний пучок має мікрощілини, орієнтовані по суті нормально до локальної лінії 60 обтікання потенційного потоку, такі як мікрощілини, показані з посилювальними позиціями 202, 203, 204. Коли зона передньої кромки буде найбільш нестійкою для біжучих хвиль (наприклад, коливання Gortler-Haemelin), у спектрі пучка у зоні передньої кромки буде по суті відсутня амплітуда при просторових хвильових числах, які відповідають даним видам коливань.

Крім того, потрібно зазначити у зв'язку з Фіг.6В, що головна ознака даного винаходу, а саме інтерференція з взаємним послабленням між рядами або групами належним чином розташованих перфораційних отворів, також може бути реалізована при використанні форм отворів, відмінних від подовжених або витягнутих мікрощілин. Наприклад, на Фіг.6В показана схема розташування круглих отворів 205, які в альтернативному варіанті можуть бути використані у пучку 250 для забезпечення заданої інтерференції з взаємним послабленням. Таким чином, саме вибрана схема розташування і форма перфораційних отворів у кожному пучку мають найбільш важливе значення. Проте, оскільки невеликі круглі отвори 205 будуть більш схильні до забивання і помилок при обробці, як було розглянуто вище, подовжена форма мікрощілини є переважною відповідно до винаходу.

Відсутність амплітуди в інтервалі $\alpha_1 < \alpha < \alpha_2$ робить сусідні пучки 250 функціонально по суті незалежними, так що додавання "клонowanego" пучка до будь-якої з двох сторін даного пучка як і раніше буде забезпечувати здатність будь-якого пучка до мінімізації і не буде приводити до зниження даної здатності. Це являє собою важливу і основну властивість пучків і впливає безпосередньо зі здатності перетворень Фур'є до зміщення. Тобто, якщо припустити, що $x=0$ являє собою місцеположення першого пучка, то внесення у функцію F перетворення Фур'є від другого пучка з аналогічним інтервалом мінімізованих амплітуд (тобто $\alpha_1 < \alpha < \alpha_2$) і розташованого на відстані Δx за першим пучком по ходу потоку просто являє собою величину $\exp(-i\alpha\Delta x)$, помножену на результат перетворення першого пучка. Оскільки амплітуда даної функції перетворення близька до нуля в інтервалі $\alpha_1 < \alpha < \alpha_2$, внесення в F від другого пучка близьке до нуля у даному діапазоні хвильових чисел. Таким чином, два пучки функціонально незалежні при генерації коливань поперечних потоків.

Крім того, оскільки інтервал значень α , в якому має місце мінімізація амплітуди, змінюється плавно і повільно у напрямі хорди у порівнянні з шириною пучка, сусідні пучки завжди будуть ділити велику частину їх мінімізованого інтервалу значень α і не будуть здійснювати впливу один на одного. Отже, існує можливість після проектування схеми розташування перфораційних отворів пучка просто "укласти" пучок за пучком у вибраних місцях для утворення повної системи розташування із заданою пористістю.

Як буде розглянуто нижче більш конкретно, відсмоктувана частина потоку створюється через перфораційні отвори за рахунок прикладення відсмоктувальної сили до камери під перфорованою обшивкою. Статичний тиск у камері під перфорованою обшивкою не є просторово постійним через конструктивні перешкоди, стоячі хвилі і т.д. Як показано нижче, оцінка довжин хвиль цієї просторової нерівномірності дає величину α_1 і α_2 для інтервалу $\alpha_1 < \alpha < \alpha_2$ мінімізації.

Розподіл $v_{wall}(x,z)$ швидкостей відсмоктування пропорційний до квадратного кореня з перепаду тисків $\Delta p(x,z)$ на перфорованій панелі, помноженого на геометричні характеристики $hole(x,z)$ отвору. Оскільки пучок є вузькими у напрямі x, змінами у даному напрямі можна знехтувати, і оскільки зміни Δp у просторі малі за амплітудою у порівнянні з середнім значенням, квадратний корінь розкладають у ряд для одержання

$$v_{wall}(z) = \left(\Delta p_0 + \frac{1}{2} \Delta p(z) + \dots \right) hole(z) \quad (3)$$

Кожний добуток відповідає згортці у просторі хвильових чисел

$$v_{wall}(\beta) = \Delta p_0 hole(\beta) + \frac{1}{2} \Delta p(\beta) * hole(\beta) + \dots \quad (4)$$

Перший член з правого боку рівняння являє собою член, який був розглянутий вище. Другий член приводить до розширення спектра кожного компонента Фур'є геометричних характеристик. Чим більше локалізована зміна $\Delta p_1(\beta)$ у просторі, тим більше розширення. Припустимо, що, наприклад, варіація тиску відсмоктування має дуже локалізований нормальний розподіл з величиною σ , яка дорівнює п'яти сантиметрам. Тоді $\Delta p_1(\beta)$ має значні амплітуди (тобто понад 2% від максимального значення) до $\beta = \pm 0,5$ 1/мм, що викликає розширення спектра $\pm 0,5$ при піку $\beta = 9,66$ геометричних характеристик у даному прикладі. При використанні Фіг.3 для пошуку відповідної зміни a_r можна встановити, що вона складає приблизно $\pm 0,4$ 1/мм у вибраному місці $x/c = 0,0076$. Таким чином, мінімізація за α повинна виходити за $\pm 0,4$ від центрального значення $a_r^* = 6,4$ для одержання $6,0 < \alpha < 7,2$. На Фіг.7 розширення відносно співвідношення $a_r - \beta$ для коливання поперечного потоку (темна лінія 1002) буде являти собою смугу, що проходить вздовж лінії 1002. Потрібно зазначити, що спектр даної оптимізованої схеми розташування буде по суті нульовим на такій смузі вздовж лінії 1002, що приводить до заданої нечутливості схеми розташування до просторових коливань рівня тиску у камері.

Далі наводиться безпосереднє порівняння звичайної схеми розташування і одного оптимізованого пучка. Звичайна схема розташування являє собою прямокутну зону шириною 7мм у напрямі x і періодичним інтервалом у напрямі z , в якій отвори діаметром 70мм розташовані у шаховому порядку з максимальною відстанню між отворами, яка складає 0,5мм, як показано у верхній частині Фіг.8, при цьому деякі отвори забиті. Оптимізований пучок такий же, як розглянутий вище, і показаний у верхній частині Фіг.9. Обидві схеми розташування отворів мають однакову загальну площу пропускного перерізу, отже, приблизно однаковий потік маси при заданому перепаді тиску, і по суті однакові максимальні швидкості відсмоктування. Допуски на проширення отворів і механічну обробку складають відповідно 15 і 20мм, і звичайна схема розташування має випадкове число засмічених отворів, таке, що не перевищує 10% від загального числа отворів. На Фіг.8 показана геометрія і відповідний просторовий спектр для звичайної схеми розташування, а на Фіг.9 наведена така ж інформація для "настроєного" пучка за винаходом. Амплітуда спектрів наведена у масштабі для кращої демонстрації величин в інтервалі нестійких хвильових чисел. Потрібно зазначити, що обидва графіки мають однакові граничні значення.

З цих двох фігур стає зрозуміло, що оптимізована схема розташування отворів за винаходом, подана на Фіг.9, приводить до значно меншого нагнітання в інтервалі нестійких хвильових чисел вздовж лінії 1002 при однаковому середньому потоку маси у порівнянні зі звичайною схемою розташування, показаною на Фіг.8, і тому оптимізована схема може бути справедливо охарактеризована як схема розташування з хорошими робочими характеристиками.

З врахуванням наведеного вище розгляду розробки і опису переважних ознак винаходу далі буде розглянутий конкретний приклад використання. Фіг.10 являє собою схематичний вигляд у перспективі частини зони передньої кромки аеродинамічного профілю 40, такого як несуче крило, елемент поверхні керування, стабілізатор, киль (вертикальний стабілізатор) або т.п. літального апарату, як типово аеродинамічне тіло 40. Аеродинамічний профіль 40 включає в себе перфоровану зовнішню обшивку 100, яка зокрема виконана з такими, що проходять лінійно, групами або пучками 250 рядів перфораційних отворів 200 відповідно до винаходу. Як можна бачити, всі пучки 250 рядів перфораційних отворів проходять у подовжньому напрямі паралельно до передньої кромки 50, тобто паралельно до напрямку z вздовж розмаху крила, і розташовані на визначеній відстані один від одного у напрямі x хорди. Таким чином, відповідні неперфоровані зони поверхні передбачені між сусідніми пучками з пучків 250 рядів перфораційних отворів і відділяють сусідні пучки 250 рядів перфораційних отворів один від одного.

У кожному пучку 250 схема розташування і параметри перфораційних отворів, наприклад, довжина, ширина, форма, відстань між перфораційними отворами, орієнтація, періодичність, шаховий порядок розташування, пористість (відношення площі пропускного перерізу перфораційних отворів до загальної площі), кількість рядів, групування рядів і відстань між рядами перфораційних отворів у даному пучку, оптимізовані відповідно до принципів винаходу, розглянутих вище. А саме, схема розташування і параметри перфораційних отворів даного пучка задані такими, що пучок буде мати просторовий спектр, який характеризується по суті відсутністю енергії (понад середній енергетичний рівень "шумів") при заздалегідь визначених довжинах хвиль, так що збурення у потоку, які виникають за рахунок відсмоктування через перфораційні отвори, гасять один одне за пучком по ходу потоку внаслідок інтерференції збурень потоку з взаємним їх послабленням при заздалегідь визначених довжинах хвиль. Таким чином, енергія збудження просторового спектра, пов'язаного з відповідним пучком, може бути зведена до мінімуму зокрема при довжинах хвиль, що створюють найбільші проблеми, тобто довжинах хвиль заздалегідь визначених нестійкостей потоку, які в іншому випадку виникають у примежовому шарі над пучком в умовах польоту літального апарату, що містить аеродинамічний профіль 40, що розглядається, на крейсерській швидкості. Ці довжини хвиль являють собою зокрема довжини хвиль, при яких режими поперечних потоків у течії примежового шару є нестійкими у місці розташування вибраного пучка у напрямі хорди, наприклад, як описано за допомогою відповідного дисперсійного співвідношення, наприклад, у зв'язку з Фіг.3.

У той час як мікрощілини 200 даного пучка 250 в основному і переважно орієнтовані так, що всі їх довгі осі паралельні одна одній, мікрощілини різних пучків можуть мати різні орієнтації. Як загалом було розглянуто вище, внаслідок того, що передня кромка 50 аеродинамічного профілю 40 розташована під кутом прямої стрілоподібності, повітряний потік, що набігає, приєднується вздовж передньої кромки 50, і лінії обтікання потоку за межами примежового шару (потенційний потік), які стикаються з аеродинамічним профілем 40 збоку від передньої кромки 50, викликають утворення криволінійної траєкторії 60 повітряного потоку. Як також було розглянуто вище, в залежності від конкретних параметрів потоку для даного аеродинамічного профілю переваги можуть бути досягнуті шляхом орієнтування мікрощілин 200 даного пучка 250 так, що довгі осі мікрощілин будуть по суті перпендикулярні до напрямку локального вільного потоку, як показано лінією 60 вільного потоку.

Таким чином, як показано на відповідних збільшених, детально зображених ділянках Фіг.10, мікрощілини 202 пучка 250, розташованого безпосередньо вздовж передньої кромки 50, орієнтовані по суті перпендикулярно до подовжнього напрямку даного пучка і перпендикулярно до локального вільного потоку, у той час як мікрощілини 203 і 204 пучків, розташованих послідовно далі від передньої кромки 50, орієнтовані під відповідними косими кутами відносно подовжнього напрямку протяжності даного пучка 250 так, що відповідні мікрощілини пучка будуть по суті перпендикулярні до лінії 60 вільного потоку у даному місці у напрямі хорди. Як було розглянуто вище, для досягнення різних переваг при різних параметрах потоку як альтернатива мікрощілини можуть бути розташовані інакше, тобто так, що їх довгі осі будуть по суті паралельні до напрямку 60 локального вільного потоку.

Повна конструкція аеродинамічного профілю 40 додатково розглянута у зв'язку з Фіг.11. Як показано на Фіг.11, перфорована обшивка 100 повинна мати конструктивну опору у вигляді розташованої під нею підтримуючої конструкції, яка у даному випадку включає в себе подовжні нервюри 300, конструктивно об'єднані із зовнішньою обшивкою, наприклад, приєднані до зовнішньої обшивки 100. Нервюри 300 проходять по суті паралельно до передньої кромки 50 аеродинамічного профілю 40, отже, також паралельно до пучків

250 рядів перфораційних отворів. Відповідно, просто з конструктивних міркувань потрібно забезпечити те, що подовжні нервюри 300 будуть проходити у подовжньому напрямі під обшивкою 100 у неперфорованих зонах між сусідніми пучками 250 рядів перфораційних отворів. Тим самим, перфорована зовнішня обшивка 100 буде конструктивно спиратися на нервюри 300, і при цьому нервюри 300 не будуть перекривати ніяких перфораційних отворів 200 з пучків 250 і не буде погіршувати або сильно впливати на визначені задані характеристики потоків заданого просторового спектра кожного пучка. Іншими словами, характеристики потоків, що забезпечуються кожним пучком, можуть бути визначені без врахування конструктивної опори, необхідної для аеродинамічного профілю, за умови, що силові нервюри 300 розташовані у даному випадку у неперфорованих зонах обшивки між сусідніми пучками 250. Це дозволяє подолати серйозну проблему, пов'язану з конструкціями за відомим рівнем техніки, в яких раніше виконані перфораційні отвори або перекривалися розташованими під ними силовими нервюрами, або виникала необхідність у виконанні переривистої схеми розташування заданих перфораційних отворів, що, само собою зрозуміло, приводить до істотного погіршення заданих характеристик потоку, що досягаються за допомогою звичайних схем розташування отворів.

Крім того, обшивка 100 і силові нервюри 300 можуть бути приєднані один до одного будь-яким звичайним відомим придатним чином, наприклад, шляхом зварювання або шляхом склепування кромок. Проте, переважно зовнішня обшивка 100 може бути легко виготовлена за одне ціле з силовими нервюрами 300 шляхом екструзії їх в один канал. Заздалегідь спроектовані схеми розташування перфораційних отворів, що утворюють пучки 250, будь-яким відомим чином формують на екструдованому елементі шляхом його обробки.

На Фіг.12 схематично показане подальше удосконалення загальної конструкції типового аеродинамічного профілю 40. Крім елементів, показаних і розглянутих у зв'язку з Фіг.11, варіант здійснення за Фіг.12 додатково включає в себе внутрішній перфорований елемент 400, такий як перфорована внутрішня пластина 400, яка приварена, приклепана, приклеєна до подовжніх нервюр 300 або конструктивно об'єднана з ними будь-яким іншим чином для утворення відповідних каналів 420 для проходження повітря між зовнішньою обшивкою 100 і внутрішнім пластиноподібним елементом 400. Зокрема, кожний канал 420 обмежений зовнішньою обшивкою 100, внутрішнім пластиноподібним елементом 400 і відповідними сусідніми нервюрами з нервюр 300. Цей внутрішній пластиноподібний елемент 400 служить для виконання двох важливих функцій. По-перше, внутрішній пластиноподібний елемент 400 разом з нервюрами 300 і зовнішньою обшивкою 100 утворює міцну жорстку коробчасту балкову конструкцію з високою питомою міцністю. По-друге, канали 420 для проходження повітря, утворені за рахунок забезпечення наявності внутрішнього пластиноподібного елемента 400, можуть бути використані для керування відсмоктуванням або потоком для відсмоктування, що подається до кожної відповідної групи пучків 250 рядів перфораційних отворів у межах інтервалу аеродинамічного профілю у напрямі хорди, обмеженого відповідним одним з каналів 420 для проходження повітря між сусідніми нервюрами з силових нервюр 300. Потік для відсмоктування "підводиться" за допомогою будь-якого звичайного відомого пристрою 600 для створення відсмоктувальної сили до спільної камери 500 під пластиноподібним елементом 400, і потім розподіляється необхідним чином через отвори 450 пластиноподібного елемента 400 до окремих каналів 420, як буде розглянуто більш детально.

Як загалом було розглянуто вище, проблеми надмірного відсмоктування, пов'язані з надмірними швидкостями відсмоктуваної частини потоку, що проходить через визначені перфораційні отвори, можуть бути викликані зміною зовнішнього тиску у напрямі течії, що діє локально на аеродинамічний профіль 40.

Таким чином, якщо постійний і рівномірний тиск відсмоктування або вакуумметричний тиск подається до всієї нижньої сторони перфорованої обшивки 100, то перепад тисків у будь-якому заданому перфораційному отворі буде залежати від зовнішнього тиску і буде змінюватися разом із зовнішнім тиском. Для простоти і надійності бажано забезпечити один постійний тиск у камері відсмоктувача, але також переважно компенсувати зміну перепаду тиску у напрямі течії з тим, щоб одержати керований і заданий відсмоктуваний потік маси для всіх перфораційних отворів вздовж всіх перфорованих зон обшивки. Даний винахід може забезпечити компенсацію зміни тиску у напрямі течії трьома способами, при цьому кожний зі способів передбачає використання властивості незалежності відповідних пучків: по-перше, шляхом зміни пористості відповідних пучків у напрямі по потоку, по-друге, шляхом зміни відповідної опорної конструкції і, зокрема, перфорованого внутрішнього пластиноподібного елемента 400 і, по-третє, за допомогою комбінації попередніх двох можливостей.

Допоміжні перфораційні отвори або отвори 450 внутрішнього пластиноподібного елемента 400 забезпечують сполучення між кожним каналом 420 для проходження повітря і однією відкритою зоною 500 камери під внутрішнім пластиноподібним елементом 400. Ширина (тобто протяжність у напрямі хорди) кожного каналу 420 є досить малою між послідовно розташованими нервюрами 300, так що зміна зовнішнього тиску на ширині будь-якого одного каналу 420 і відповідній групі пучків 250 буде невеликою. Відсмоктуване повітря з примежового шару проходить через перфораційні отвори 200 у зовнішній обшивці 100, по висоті відповідного каналу 420, що забезпечує сполучення, і потім через допоміжні перфораційні отвори 450 внутрішнього перфорованого пластиноподібного елемента 400 для входу у внутрішню повітряну камеру 500, в якій підтримується по суті постійний і рівномірний тиск відсмоктування або вакуумметричний тиск за допомогою пристрою 600 для створення відсмоктувальної сили. Пристрій 600 для створення відсмоктувальної сили, камера 500 і канали 420 для проходження повітря окремо або спільно можуть розглядатися як такі, що утворюють систему відсмоктування.

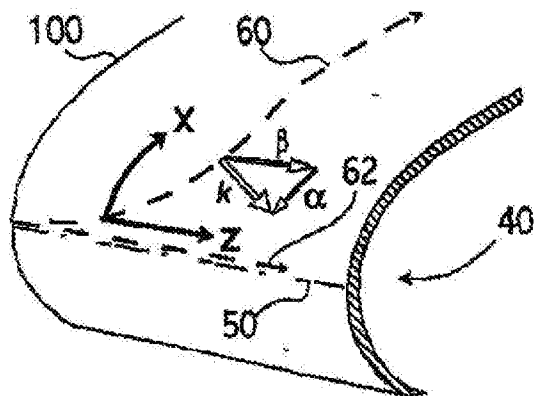
У зоні кожного відповідного окремого каналу 420 внутрішній перфорований пластиноподібний елемент 400 має заздалегідь визначену пористість, що забезпечується допоміжними перфораційними отворами 450, для досягнення заданого ефекту дроселювання з метою керування тиском відсмоктування і відсмоктуваною частиною потоку через відповідний канал 420. Зокрема, заздалегідь визначена пористість, що забезпечується допоміжними перфораційними отворами 450 внутрішнього пластиноподібного елемента 400, така, що сумарний аеродинамічний опір, який створюється основними перфораційними отворами 200 зовнішньої обшивки 100 вздовж даного визначеного каналу 420 для проходження повітря, у сумі з аеродинамічним

опором других перфораційних отворів 450, виконаних у внутрішньому пластиноподібному елементі 400 у зоні даного каналу 420, забезпечує задану швидкість потоку у конкретному місці, що розглядається, у напрямі хорди. А саме, пористість внутрішньої пластини змінюється від каналу до каналу точно так, як потрібно для нейтралізації змін зовнішнього тиску. Схема розташування допоміжних перфораційних отворів 450 у внутрішньому пластиноподібному елементі 400 може бути вибрана відносно вільно у порівнянні з винайденими схемами розташування перфораційних отворів 200 у зовнішній обшивці 100, оскільки внутрішній пластиноподібний елемент 400 не зазнає впливу параметрів потоку [умов] у зовнішньому приміжовому шарі. Крім того, подовжні нервюри 300 переважно мають високу теплопровідність і будуть проводити тепло з внутрішньої камери 500 до зовнішньої обшивки 100.

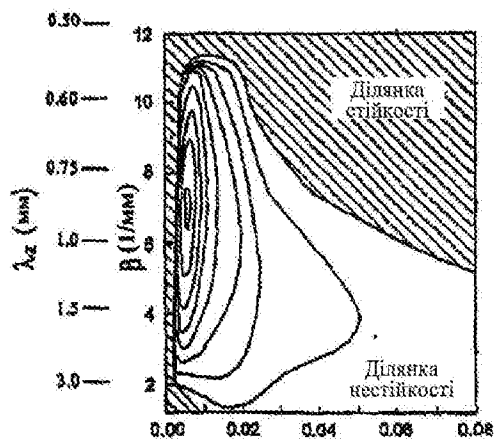
Крім того, може бути забезпечене вибіркоче вдування теплого повітря у внутрішню камеру 500, яке буде виводитися назовні через перфораційні отвори 200 у зовнішній обшивці 100 для створення теплого потоку до зовнішньої обшивки 100, який може запобігати або сприяти видаленню льоду, що намерзає на поверхні зовнішньої обшивки. Зрозуміло, дана операція, що виконується за допомогою конструкції за винаходом, може бути виконана у той час, коли не потрібне керування приміжовим шаром за допомогою відсмоктування.

Потрібно також зазначити, що ширина кожного пучка 250 і ширина кожного каналу 420 можуть змінюватися або повільно зменшуватися у напрямі довжини вздовж розмаху крила для пристосування до повільної зміни параметрів потенційного потоку і течії приміжовому шарі у напрямі вздовж розмаху крила у слабо кінцевих потоках, таких як ті, які є вздовж несучих поверхонь, що звужуються, подібних до крил, стабілізаторів і кілів літального апарату.

Конструкція за даним винаходом, що включає в себе перфоровану обшивку для здійснення впливу на течію текучого середовища у приміжовому шарі або керування течією текучого середовища у приміжовому шарі вздовж поверхні, особливо застосовна для зовнішньої обшивки елементів з аеродинамічним профілем, таких як несучі крила, стабілізатори, кілі, поверхні керування і поверхні забору повітря літального апарату. Крім того, конструкція за винаходом застосовна для будь-якої іншої ситуації, що передбачає наявність потоку текучого середовища, що має відносно високу швидкість, у приміжовому шарі вздовж поверхні. Наприклад, схеми розташування перфораційних отворів за винаходом можуть використовуватися для поверхонь аеродинамічних труб з метою зменшення або усунення збурень потоку. Також можливі випадки застосування у гідродинаміці.



Фіг.1



Відстань вздовж аеродинамічного профілю (X/c)

Фіг.2

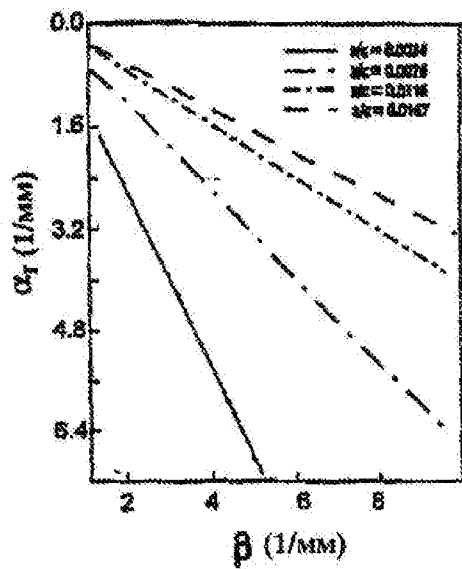


Fig. 3

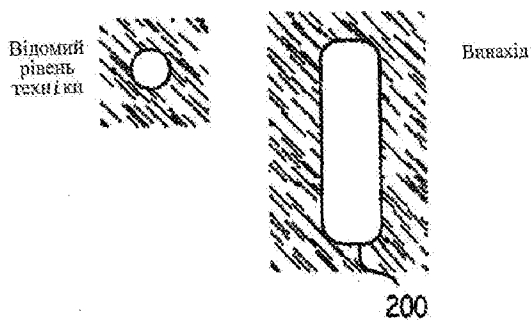


Fig. 4

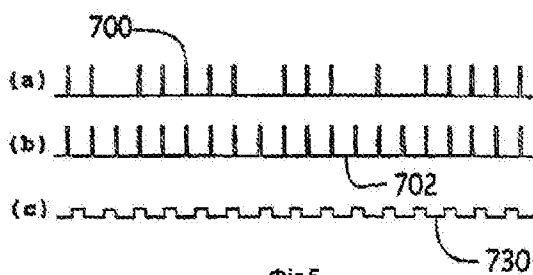


Fig. 5

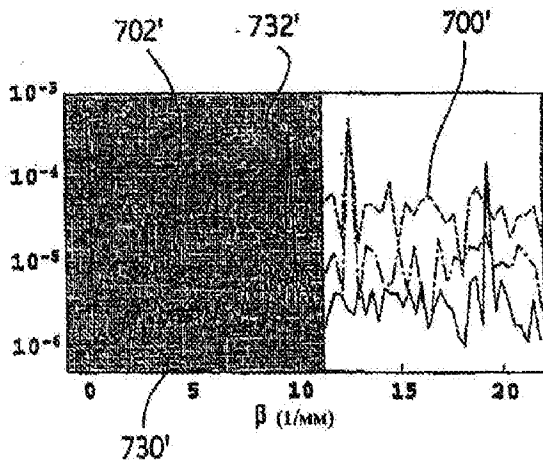
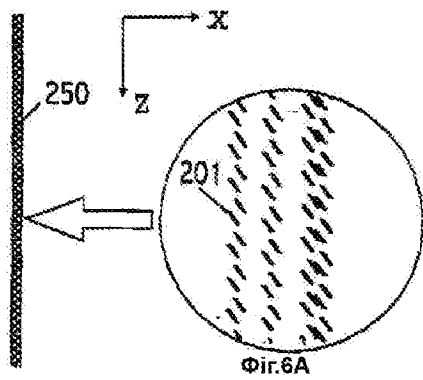
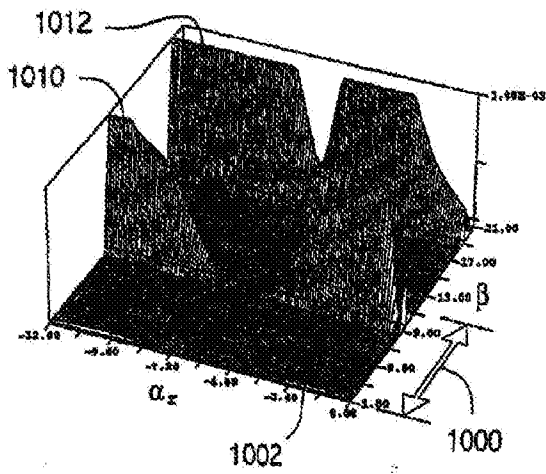
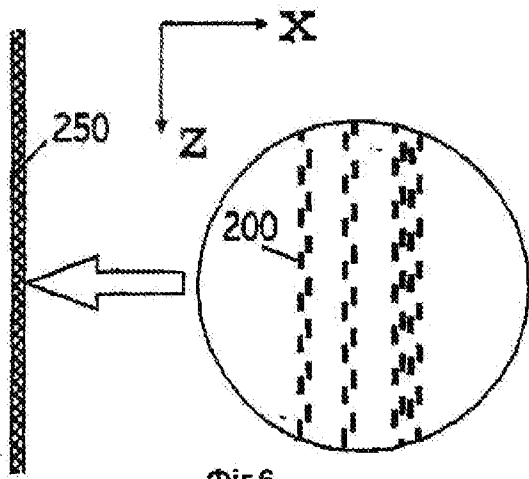


Fig. 5A



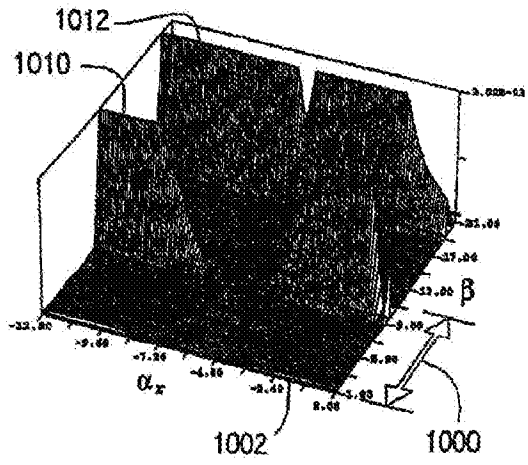


Fig.7A

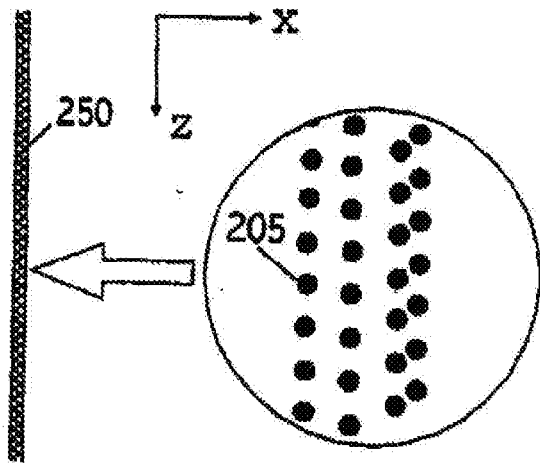


Fig.6B

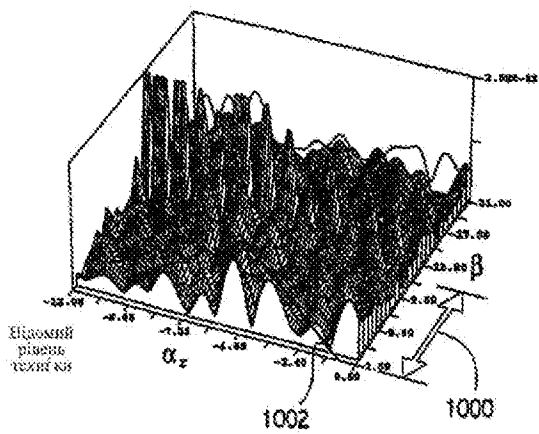
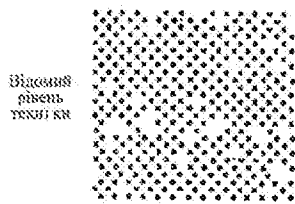


Fig.8

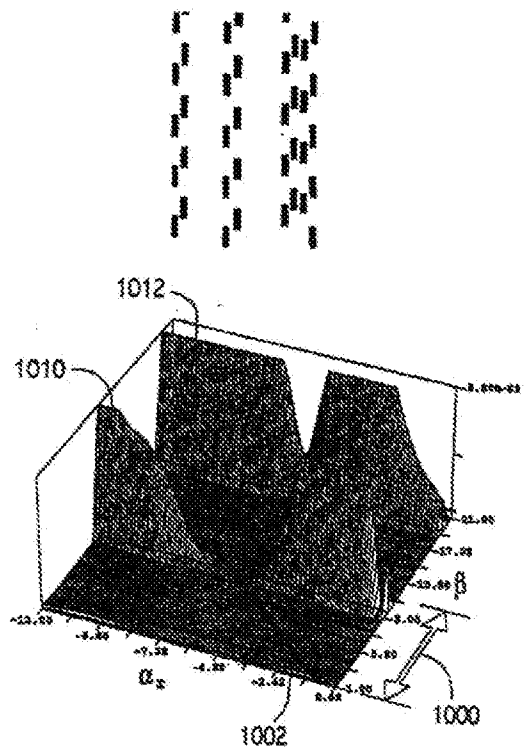


Fig. 9

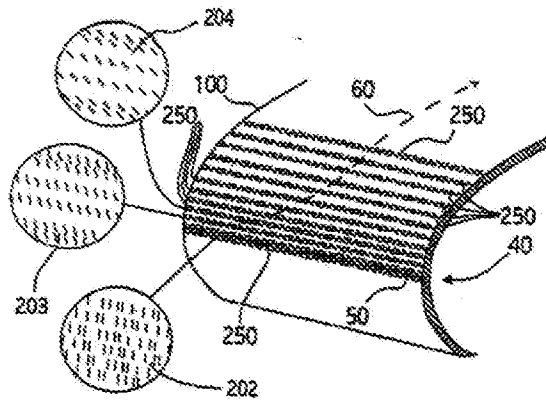


Fig. 10

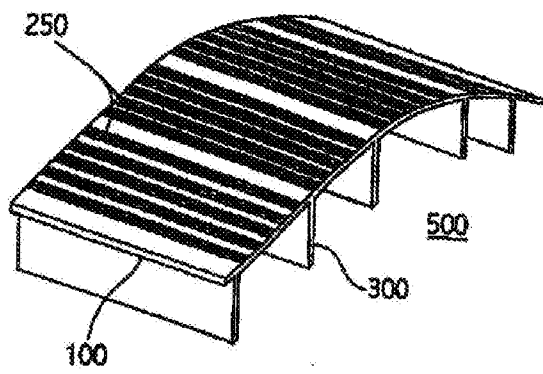
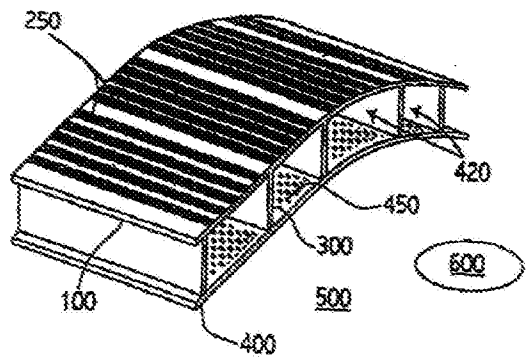


Fig. 11



Φir.12