



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **130910** (13) **C2**
(51) МПК (2026.01)
G01M 11/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2020 06198	(72) Винахідник(и): Дун Сяюань (US), Вебб Вільям (US), Вонг Крістофер (US), Піллінг Ян (US)
(22) Дата подання заявки: 27.02.2019	
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 18.06.2026	
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 62/635,626, 62/786,271, 62/807,298	(73) Володілець (володільці): СІТІСІ ГЛОБАЛ КОРПОРЕЙШН, 2026 McGaw Avenue, Irvine, California 92614, United States of America (US)
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 27.02.2018, 28.12.2018, 19.02.2019	(74) Представник: Бочаров Максим Анатолійович, реєстр. №367
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: US, US, US	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: HOFER et al. Fibre optic damage detection in composite structures // COMPOSITES, IPC BUSINESS PRESS LTD. HAYWARDS HEATH. 1987. Vol. 18. No. 4. P. 309-316 US 20160265339 A1, 15.09.2016 US 8075809 B2, 13.12.2011 US 8314926 B2, 20.11.2012 JP 2001219345 A, 14.08.2001 WO 2015/195150 A1, 23.12.2015
(41) Публікація відомостей про заявку: 10.11.2020, Бюл.№ 21	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 17.06.2026, Бюл.№ 24	
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: PCT/US2019/019853, 27.02.2019	

(54) СИСТЕМА ТА СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ПОСИЛЮВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

(57) Реферат:

Запропоновані системи, способи й інструменти для визначення стану посилювальних елементів із композиційних матеріалів, армованих волокнами, для оцінки конструктивної цілісності посилювальних елементів. У системах і способах використовується передача/пропускання світла через оптичні волокна, які закладені вздовж довжини посилювальних елементів. Неможливість виявити світло, що проходить через одне або більше оптичних волокон, може бути свідченням того, що конструктивна цілісність посилювального елемента порушена. Системи і способи можуть бути реалізовані без великих ускладнень і можуть використовуватися в будь-який час протягом терміну служби посилювального елемента, від виготовлення до монтажу включно. Системи і способи особливо доцільні для застосування для неізольованих повітряних електричних кабелів, які включають в себе армований волокнами посилювальний елемент.

UA 130910 C2

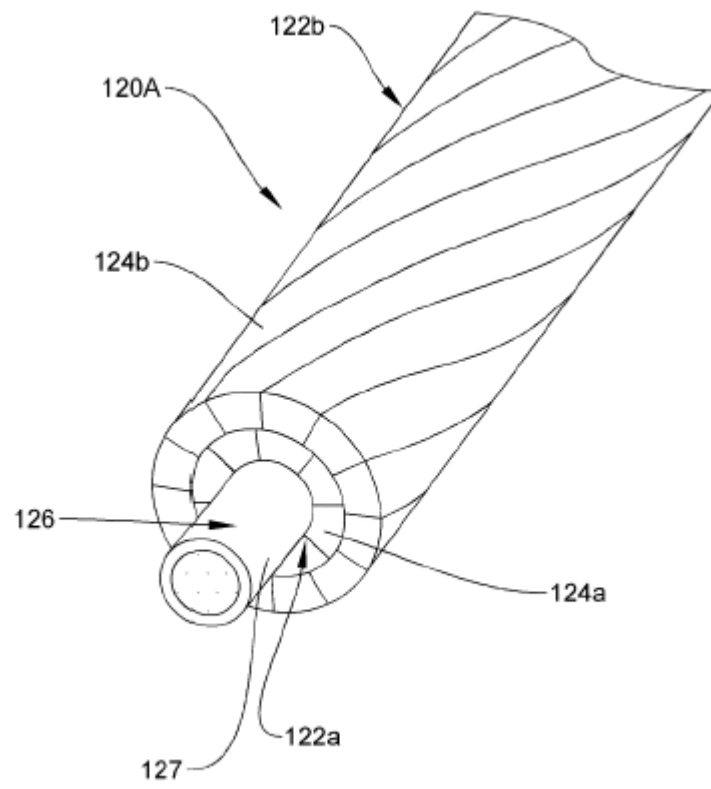


Fig. 1A

ГАЛУЗЬ ТЕХНІКИ, ДО ЯКОЇ НАЛЕЖИТЬ ВІНАХОД

Дане розкриття винаходу стосується галузі посилювальних елементів з армованих волокнами композиційних матеріалів і, зокрема, галузі перевірки конструктивної цілісності таких посилювальних елементів з армованих волокнами композиційних матеріалів.

5 ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ ВІНАХОДУ

Посилювальні елементи з армованих волокнами композиційних матеріалів переважні для використання в дуже різних конструкціях внаслідок відносно високого відношення їх міцності до маси і інших бажаних властивостей. Наприклад, багато які подовжені посилювальні елементи з армованих волокнами композиційних матеріалів використовуються як елементи, які працюють на розтягнення, в конструкціях, таких як мости і троси для підвіски кабелів на залізницях, і замінюють матеріали, що раніше використовувалися, такі як сталь.

Одним таким застосуванням посилювальних елементів з армованих волокнами композиційних матеріалів, яке виникло останнім часом, є їх використання в неізольованих повітряних електричних кабелях для передачі і розподілу електроенергії. Такі електричні кабелі, як правило, включають в себе множину провідних металевих жил, які намотані навколо центрального посилювального елемента і спираються на нього. Посилювальний елемент традиційно виготовляли зі сталі. У останні роки для посилювального елемента використовують композиційні матеріали, армовані волокнами. Такі композиційні матеріали забезпечують істотні переваги порівняно зі сталлю, включаючи меншу вагу, менші розміри (що дозволяє використати провідника з великим поперечним перерізом), менше провисання при нагріванні і багато які інші переваги. Одним прикладом повітряного електричного кабелю, що має такий армований волокнами посилювальний елемент, є неізольований повітряний електричний кабель АССС®, що постачається компанією CTC Global Corporation, Irvine, Каліфорнія, США. Див., наприклад, патент США № 7,368,162 на ім'я Hiel і інш., який повністю включений в даний документ шляхом посилання.

На відміну від більшості металевих матеріалів композиційні матеріали, армовані волокнами, як правило, мають низьку пластичність. У результаті може виникати проблема, що полягає в тому, що посилювальний елемент з композиційного матеріалу, армованого волокнами, може бути підданий негативним впливам відносно його конструкції (наприклад, руйнуватися) під час виготовлення, вантажно-розвантажувальних робіт і транспортування і/або монтажу посилювального елемента і/або електричного кабелю. Малі тріщини в посилювальному елементі можуть важко піддаватися виявленню звичайними способами. Це особливо актуально для повітряних електричних кабелів внаслідок надмірно великої довжини повітряного електричного кабелю і внаслідок того, що посилювальний елемент не видний після намотування струмопровідних жил навколо посилювального елемента.

Були запропоновані способи і системи для моніторингу стану посилювального елемента, армованого волокнами, під час використання посилювального елемента. Наприклад, було запропоноване рішення, відповідно до якого температуру і деформацію посилювального елемента в повітряному електричному кабелі можна відстежувати під час використання при застосуванні складних технологій, таких як оптична часова рефлектометрія (OTDR). Однак такі системи і способи потребують складного обладнання, потребують використання джерела когерентного випромінювання (наприклад, лазера) і потребують точного виставлення джерела когерентного випромінювання відносно оптичних волокон, прикріплених до посилювального елемента; все це важко реалізувати у виробничих умовах, наприклад, у зовнішньому середовищі, в якому побудовані лінії передачі і розподілу електроенергії.

СУТЬ ВІНАХОДУ

У даному документі розкриті системи, способи, компоненти і інструменти, які забезпечують можливість визначення стану посилювальних елементів з армованих волокнами композиційних матеріалів для з'ясування того, чи не пошкоджена конструкція посилювальних елементів з композиційних матеріалів, наприклад, для виявлення наявності дефектів, таких як тріщини, в посилювальному елементі. Дані системи, способи, компоненти і інструменти забезпечують можливість відносно простого і низько затратного визначення стану посилювальних елементів в процесі виготовлення, під час монтажу/установки і/або після монтажу/установки посилювальних елементів.

Системи, способи, компоненти і інструменти, розкриті в даному документі, включають, серед іншого:

- (i) систему для виявлення дефекту в посилювальному елементі (strength member) з армованого волокнами композиційного матеріалу;
- (ii) спосіб виявлення дефекту в посилювальному елементі з армованого волокнами композиційного матеріалу;

(iii) спосіб підготовки посилювального складового елемента (strength element) з армованого волокнами композиційного матеріалу до визначення стану за допомогою використання джерела світла;

5 (iv) подовжений посилювальний елемент з армованого волокнами композиційного матеріалу, що включає в себе оптичне волокно;

(v) пристрій для передачі світла в кінець оптичного волокна, який закладений в подовженому конструктивному елементі;

(vi) пристрій для виявлення світла, що виходить з кінця оптичного волокна, яке закладене в подовженому конструктивному елементі;

10 (vii) інструмент для різання і полірування; і

(viii) спосіб виготовлення подовженого посилювального складового елемента, який складається з армованого волокнами композиційного матеріалу і виконаний з можливістю використання в посилювальному елементі, що працює на розтягнення.

15 Таким чином, в одному варіанті здійснення розкрита система, виконана з можливістю виявлення дефекту в посилювальному елементі з армованого волокнами композиційного матеріалу. Система включає в себе посилювальний елемент з армованого волокнами композиційного матеріалу, при цьому посилювальний елемент містить, щонайменше, перший посилювальний складовий елемент. Перший посилювальний складовий елемент містить зв'язувальну матрицю, множину армувальних волокон, функціонально розміщених в зв'язувальній матриці для утворення композиційного матеріалу, армованого волокнами, і, щонайменше, перше оптичне волокно, що закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і що проходить від першого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами, до другого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами. Світлопередавальний пристрій функціонально з'єднаний з першим кінцем посилювального елемента, при цьому світлопередавальний пристрій містить джерело світла, яке виконане з можливістю передачі світла, що має довжину хвилі, що становить, щонайменше, приблизно 300 нм і не перевищує приблизно 1700 нм, через перший кінець першого оптичного волокна. Пристрій виявлення світла функціонально з'єднаний з другим кінцем посилювального елемента, при цьому пристрій виявлення світла містить світловий детектор, який виконаний з можливістю виявлення світла, що передається від світлопередавального пристрою через другий кінець першого оптичного волокна.

Вищезгадана система може бути охарактеризована як така, що має удосконалення елементів і/або додаткові ознаки, які можуть бути реалізовані окремо або в будь-якій комбінації. Відповідно до однієї характеристики джерело світла виконане з можливістю випускання світлового випромінювання, що має основну довжину хвилі в інфрачервоній ділянці. У одному вдосконаленому варіанті джерело світла виконане з можливістю випускання світлового випромінювання, що має основну довжину хвилі, що становить, щонайменше, приблизно 800 нм. У іншому вдосконаленому варіанті джерело світла виконане з можливістю випускання світлового випромінювання, що має основну довжину хвилі, що не перевищує приблизно 1000 нм.

Відповідно до іншої характеристики посилювальний складовий елемент включає в себе, щонайменше, друге оптичне волокно, що закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і що проходить вздовж довжини композиційного матеріалу, армованого волокнами. У одному вдосконаленому варіанті посилювальний складовий елемент включає в себе, щонайменше, третє оптичне волокно, що закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і що проходить вздовж довжини композиційного матеріалу, армованого волокнами. У іншому вдосконаленому варіанті посилювальний складовий елемент включає в себе, щонайменше, четверте оптичне волокно, що закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і що проходить вздовж довжини композиційного матеріалу, армованого волокнами.

Відповідно до ще однієї характеристики електричний кабель має довжину, що становить, щонайменше, приблизно 100 метрів. Відповідно до ще однієї характеристики електричний кабель має довжину, що не перевищує приблизно 3500 метрів. Відповідно до однієї характеристики електричний провідник розташований навколо посилювального елемента і спірається на нього для утворення електричного кабелю.

Відповідно до ще однієї характеристики перше оптичне волокно являє собою одномодове оптичне волокно. Відповідно до ще однієї характеристики джерело світла містить світлодіод (LED). Відповідно до ще однієї характеристики пристрій виявлення світла містить увігнуту лінзу, яка розташована між кінцем посилювального елемента з композиційного матеріалу і датчиком світла і виконана з можливістю фокусування пропущеного світла в датчик світла. У іншому

вдосконаленому варіанті датчик світла вибраний з датчика на основі приладу із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) і датчика на структурі КМОН.

У іншому варіанті здійснення розкритий спосіб визначення стану посилювального елемента з композиційного матеріалу, армованого волокнами. Посилювальний елемент містить, щонайменше, перший посилювальний складовий елемент, при цьому посилювальний складовий елемент містить зв'язувальну матрицю і множину армувальних волокон, функціонально розміщених в зв'язувальній матриці для утворення композиційного матеріалу, армованого волокнами. Щонайменше, перше оптичне волокно закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і проходить вздовж довжини композиційного матеріалу, армованого волокнами. Спосіб включає етапи функціонального приєднання світлопередавального пристрою до першого кінця посилювального елемента, функціонального приєднання пристрою виявлення світла до другого кінця посилювального елемента, передачу світла від світлопередавального пристрою за допомогою першого оптичного волокна і у напрямку до пристрою виявлення світла, при цьому світло, що передається, є некогерентним, і виявлення наявності некогерентного світла, що передається/пропускається за допомогою пристрою виявлення світла.

Вищезгаданий спосіб може бути охарактеризований як такий, що має удосконалення і/або додаткові етапи способу, які можуть бути реалізовані окремо або в будь-якій комбінації. Відповідно до однієї характеристики світло, що передається, має довжину хвилі в інфрачервоній ділянці. У одному вдосконаленому варіанті світло, що передається, має основну довжину хвилі, що становить, щонайменше, приблизно 800 нм. У іншому вдосконаленому варіанті світло, що передається, має основну довжину хвилі, що не перевищує приблизно 1000 нм. Відповідно до іншої характеристики перший посилювальний складовий елемент включає в себе, щонайменше, друге оптичне волокно, що закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і що проходить вздовж довжини композиційного матеріалу, армованого волокнами, і етап передачі світла забезпечує передачу світла за допомогою другого оптичного волокна. У іншому вдосконаленому варіанті посилювальний складовий елемент включає в себе, щонайменше, третє оптичне волокно, що закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і що проходить вздовж довжини композиційного матеріалу, армованого волокнами, і етап передачі світла забезпечує передачу світла за допомогою третього оптичного волокна. У ще одному вдосконаленому варіанті посилювальний складовий елемент включає в себе, щонайменше, четверте оптичне волокно, що закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і що проходить вздовж довжини композиційного матеріалу, армованого волокнами, і етап передачі світла забезпечує передачу світла за допомогою четвертого оптичного волокна.

Відповідно до ще однієї характеристики посилювальний елемент з композиційного матеріалу має довжину, що становить, щонайменше, приблизно 500 метрів. У ще одному вдосконаленому варіанті посилювальний елемент з композиційного матеріалу має довжину, що становить, щонайменше, приблизно 3500 метрів. Відповідно до ще однієї характеристики посилювальний елемент з композиційного матеріалу має довжину, що не перевищує приблизно 7500 метрів. Відповідно до ще однієї характеристики під час етапів передачі світла і виявлення світла посилювальний елемент з композиційного матеріалу намотаний на котушку. Відповідно до ще однієї характеристики спосіб включає етап випробування посилювального складового елемента з композиційного матеріалу під навантаженням перед етапами передачі і виявлення світла.

Відповідно до ще однієї характеристики електричний провідник намотують навколо посилювального елемента з композиційного матеріалу для утворення повітряного електричного кабелю. У одному вдосконаленому варіанті етапи передачі і виявлення світла виконують після скручування посилювального елемента з композиційного матеріалу разом з електричним провідником і перед монтажем повітряного електричного кабелю на баштових опорах. У іншому вдосконаленому варіанті етапи передачі і виявлення світла виконують після монтажу повітряного електричного кабелю на баштових опорах.

Відповідно до ще однієї характеристики оптичне волокно являє собою одномодове оптичне волокно. Відповідно до ще однієї характеристики етап передачі світла включає подачу живлення на світлодіод (LED). У одному вдосконаленому варіанті етап передачі світла включає механічне обертання світлодіода під час передачі світла. У іншому вдосконаленому варіанті світлодіод обертають з частотою обертання, що становить, щонайменше, приблизно 5 об./хв.

Відповідно до ще однієї характеристики матеріал для компенсації втрат відбиття в оптичному волокні наносять на перший кінець посилювального елемента для сприяння передачі світла в оптичне волокно.

Ще один варіант здійснення даного розкриття винаходу направлений на спосіб підготовки посилювального складового елемента з композиційного матеріалу, армованого волокнами, до визначення стану за допомогою використання джерела світла. Композиційний матеріал, армований волокнами, містить зв'язувальну матрицю і множину армувальних волокон, розміщених в зв'язувальній матриці, при цьому, щонайменше, перше оптичне волокно розміщене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, при цьому перше оптичне волокно проходить від першого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами, до другого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами. Спосіб включає етап розрізання подовженого композиційного матеріалу, армованого волокнами, поблизу першого кінця подовженого композиційного матеріалу, армованого волокнами, при цьому утворюють першу, отриману розрізанням, торцеву поверхню, яка є по суті плоскою. Спосіб також включає етап полірування першої, отриманої розрізанням, торцевої поверхні для утворення полірованої першої торцевої поверхні, що містить композиційний матеріал, армований волокнами, і перший кінець оптичного волокна. Посилювальний складовий елемент, що виходить в результаті, з композиційного матеріалу, армованого волокнами, виконаний з можливістю визначення його стану за допомогою джерела некогерентного світла.

Вищезгаданий спосіб може бути охарактеризований як такий, що має удосконалення і/або додаткові етапи, які можуть бути реалізовані окремо або в будь-якій комбінації. У одному вдосконаленому варіанті спосіб включає етап розрізання композиційного матеріалу, армованого волокнами, поблизу другого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами, для утворення другої, отриманої розрізанням, торцевої поверхні, яка є по суті плоскою, і полірування другої, отриманої розрізанням, торцевої поверхні для утворення полірованої другої торцевої поверхні, що містить композиційний матеріал, армований волокнами, і другий кінець першого оптичного волокна.

Відповідно до ще однієї характеристики посилювальний складовий елемент з композиційного матеріалу, армованого волокнами, має довжину, що становить, щонайменше, приблизно 100 метрів. Відповідно до ще однієї характеристики посилювальний складовий елемент з композиційного матеріалу, армованого волокнами, має довжину, що не перевищує приблизно 7500 метрів.

Відповідно до ще однієї характеристики етап (-и) розрізання композиційного матеріалу, армованого волокнами, включає (-ють) розрізання за допомогою абразивної різальної кромки, що приводиться в рух. У одному вдосконаленому варіанті абразивна різальна кромка містить абразивне зерно, що має розмір зерна, що становить, щонайменше, приблизно 30 мкм. У іншому вдосконаленому варіанті абразивну різальну кромку приводять в обертання за допомогою двигуна під час етапу розрізання. Ще один вдосконалений варіант включає етап закріплення першого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами, під час, щонайменше, етапу розрізання так, щоб перший кінець був розташований по суті ортогонально відносно різальної кромки під час етапу розрізання. У ще одному вдосконаленому варіанті етап полірування включає полірування першої, отриманої розрізанням, торцевої поверхні за допомогою абразивної полірувальної поверхні. У ще одному вдосконаленому варіанті абразивна полірувальна поверхня містить абразивне зерно, що має розмір зерна, що не перевищує приблизно 25 мкм. У ще одному вдосконаленому варіанті передбачений етап охолодження першого кінця подовженого композиційного матеріалу, армованого волокнами, перед етапом полірування і/або під час етапу полірування.

У ще одному варіанті здійснення розкритий подовжений посилювальний елемент з композиційного матеріалу, армованого волокнами. Посилювальний елемент містить, щонайменше, перший посилювальний складовий елемент з композиційного матеріалу, армованого волокнами, що має подовжню центральну вісь. Посилювальний складовий елемент містить зв'язувальну матрицю, множину армувальних волокон, розміщених в зв'язувальній матриці для утворення композиційного матеріалу, армованого волокнами, і, щонайменше, перше подовжене і безперервне оптичне волокно, що закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і що проходить від першого кінця посилювального складового елемента до другого кінця посилювального складового елемента. Щонайменше, перший кінець посилювального складового елемента містить першу торцеву поверхню, при цьому перша торцева поверхня містить композиційний матеріал, армований волокнами, і при цьому перше оптичне волокно не виступає за першу торцеву поверхню композиційного матеріалу, армованого волокнами.

Вищезгаданий посилювальний елемент може бути охарактеризований як такий, що має удосконалення елементів і/або додаткові елементи/ознаки, які можуть бути реалізовані окремо або в будь-якій комбінації. Відповідно до однієї характеристики другий кінець посилювального

складового елемента містить другу торцеву поверхню, при цьому перше оптичне волокно не виступає за другу торцеву поверхню композиційного матеріалу, армованого волокнами.

Відповідно до іншої характеристики посилювальний складовий елемент містить, щонайменше, друге подовжене і безперервне оптичне волокно, закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і при цьому друге оптичне волокно не виступає за першу торцеву поверхню композиційного матеріалу, армованого волокнами. У одному вдосконаленому варіанті посилювальний складовий елемент містить, щонайменше, третє подовжене і безперервне оптичне волокно, розміщене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і при цьому третє оптичне волокно не виступає за першу торцеву поверхню композиційного матеріалу, армованого волокнами. У іншому вдосконаленому варіанті посилювальний складовий елемент містить, щонайменше, четверте подовжене і безперервне оптичне волокно, розміщене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і при цьому четверте оптичне волокно не виступає за першу торцеву поверхню композиційного матеріалу, армованого волокнами. У ще одному вдосконаленому варіанті оптичні волокна розташовані концентрично навколо подовжньої центральної осі посилювального складового елемента. У ще одному вдосконаленому варіанті подовжня центральна вісь посилювального складового елемента вільна від оптичних волокон.

Відповідно до однієї характеристики оптичне (оптичні) волокно (-а) являє (-ють) собою одномодові оптичні волокна. Відповідно до іншої характеристики оптичне (-і) волокно (-а) являє (-ють) собою оптичне скловолокно. У одному вдосконаленому варіанті оптичне (-і) скловолокно (-а) містить (-ять) пропускаючу скляну серцевину і одне полімерне покриття, що оточує пропускаючу скляну серцевину. У іншому вдосконаленому варіанті дане одне полімерне покриття має модуль пружності, що становить, щонайменше, приблизно 1000 МПа.

Відповідно до однієї характеристики посилювальний елемент має довжину, що становить, щонайменше, приблизно 100 метрів. У одному вдосконаленому варіанті посилювальний елемент має довжину, що становить, щонайменше, приблизно 3500 метрів. Відповідно до іншої характеристики посилювальний елемент має довжину, що не перевищує приблизно 7500 метрів. Відповідно до ще однієї характеристики посилювальний елемент намотаний на котушку.

Відповідно до ще однієї характеристики посилювальний елемент має по суті круглий поперечний переріз. У одному вдосконаленому варіанті посилювальний елемент має діаметр, що становить, щонайменше, приблизно 1,0 мм. У іншому вдосконаленому варіанті посилювальний елемент має діаметр, що не перевищує приблизно 20 мм. Відповідно до ще однієї характеристики армувальні волокна містять вуглецеві волокна, які проходять у подовжньому напрямі. У одному вдосконаленому варіанті посилювальний елемент додатково містить ізолюючий шар, що оточує вуглецеві волокна. У іншому вдосконаленому варіанті ізолюючий шар містить скловолокно. У ще одному вдосконаленому варіанті оптичне (-і) волокно (-а) розташоване (-і) між вуглецевими волокнами і ізолюючим шаром.

Відповідно до однієї характеристики посилювальний елемент має номінальну міцність на розрив, що становить, щонайменше, приблизно 1900 МПа. Відповідно до іншої характеристики посилювальний елемент має коефіцієнт теплового розширення, що не перевищує приблизно $30 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

Відповідно до ще однієї характеристики перша торцева поверхня композиційного матеріалу, армованого волокнами, являє собою поліровану поверхню. У одному вдосконаленому варіанті друга торцева поверхня композиційного матеріалу, армованого волокнами, являє собою поліровану поверхню. У ще одному вдосконаленому варіанті перша торцева поверхня по суті ортогональна до подовжньої центральної осі посилювального елемента. У ще одному вдосконаленому варіанті перший кінець першого оптичного волокна розташований по суті в тій же площині, що і перша торцева поверхня композиційного матеріалу, армованого волокнами.

Відповідно до однієї характеристики посилювальний елемент містить один посилювальний складовий елемент. Відповідно до іншої характеристики посилювальний елемент містить множину посилювальних складових елементів.

Відповідно до ще однієї характеристики розкритий повітряний електричний кабель, при цьому повітряний електричний кабель містить посилювальний елемент згідно з вищенаведеним варіантом здійснення, що включає будь-які характеристики і удосконалення, і провідний шар, що оточує посилювальний елемент. У одному вдосконаленому варіанті провідний шар містить множину струмопровідних жил, розташованих навколо посилювального елемента.

У ще одному варіанті здійснення розкритий пристрій для передачі світла в кінець оптичного волокна, закладеного в подовженому конструктивному елементі. Пристрій містить по суті жорсткий несучий корпус, канал, розташований так, що він проходить, щонайменше частково, через несучий корпус, і що має отвір на першому кінці каналу, при цьому отвір і канал виконані з

можливістю прийому кінця подовженого конструктивного елемента, що має, щонайменше, перше оптичне волокно, закладене вздовж довжини конструктивного елемента. Джерело світла розташоване, щонайменше частково, в несучому корпусі і поблизу другого кінця каналу, при цьому джерело світла виконане з можливістю передачі світла в канал і у напрямку до кінця подовженого елемента, коли подовжений елемент розміщений в першому кінці каналу.

Джерело живлення функціонально з'єднане з джерелом світла. Вищезгаданий пристрій може бути охарактеризований як такий, що має удосконалення елементів і/або додаткові елементи/ознаки, які можуть бути реалізовані окремо або в будь-якій комбінації. Відповідно до однієї характеристики джерело світла являє собою джерело некогерентного світла. У одному вдосконаленому варіанті джерело світла містить світлодіод (LED). У іншому вдосконаленому варіанті світлодіод виконаний з можливістю випускання світлового випромінювання в діапазоні довжин хвиль, що становлять, щонайменше, приблизно 300 нм і що не перевищують приблизно 1000 нм. У ще одному вдосконаленому варіанті світлодіод виконаний з можливістю випускання світлового випромінювання в діапазоні довжин хвиль, що становлять, щонайменше, приблизно 800 нм і що не перевищують приблизно 900 нм.

Відповідно до іншої характеристики двигун функціонально з'єднаний з джерелом світла і виконаний з можливістю забезпечення переміщення джерела світла, коли джерело світла передає світло в канал. У одному вдосконаленому варіанті двигун виконаний з можливістю забезпечення обертання джерела світла навколо центральної осі джерела світла.

Відповідно до ще однієї характеристики стопорний елемент передбачений для підтримання деякої відстані між джерелом світла і кінцем конструктивного елемента, коли конструктивний елемент вставлений в перший кінець каналу. У одному вдосконаленому варіанті стопорний елемент містить виступ, розташований в каналі, при цьому виступ виконаний з можливістю запобігання переміщенню конструктивного елемента за виступ у напрямку до джерела світла. У одному вдосконаленому варіанті стопорний елемент виконаний з можливістю підтримання відстані між кінцем конструктивного елемента і джерелом світла, що становить, щонайменше, приблизно 0,1 мм і не перевищує приблизно 150 мм. Відповідно до однієї характеристики жорсткий несучий корпус містить метал. У одному вдосконаленому варіанті метал містить алюміній.

Ще один варіант здійснення згідно з даним розкриттям винаходу являє собою пристрій для виявлення світла, що виходить з кінця оптичного волокна, яке закладене в подовжений конструктивний елемент. Пристрій включає в себе по суті жорсткий несучий корпус, канал, розташований так, що він проходить, щонайменше частково, через несучий корпус, і що має отвір на першому кінці каналу. Отвір і канал виконані з можливістю прийому кінця подовженого конструктивного елемента, що має, щонайменше, перше оптичне волокно, закладене вздовж довжини конструктивного елемента. Світловий детектор розташований в несучому корпусі і поблизу другого кінця каналу, при цьому світловий детектор виконаний з можливістю прийому і виявлення світла з оптичного волокна, коли подовжений елемент розміщений в першому кінці каналу. Джерело живлення функціонально з'єднане зі світловим детектором.

Вищезгаданий пристрій може бути охарактеризований як такий, що має удосконалення елементів і/або додаткові елементи/ознаки, які можуть бути реалізовані окремо або в будь-якій комбінації. Відповідно до однієї характеристики світловий детектор вибраний з датчика на основі приладу із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) і датчика на структурі КМОН. Відповідно до іншої характеристики пристрій містить елемент для блокування світла, розташований на першому кінці каналу і виконаний з можливістю щільного підтискання до конструктивного елемента навколо нього, коли конструктивний елемент вставлений в канал. У одному вдосконаленому варіанті елемент для блокування світла містить еластомерний матеріал.

Відповідно до ще однієї характеристики пристрій містить стопорний елемент, виконаний з можливістю підтримання деякої відстані між світловим детектором і кінцем конструктивного елемента, коли конструктивний елемент вставлений в перший кінець каналу. У одному вдосконаленому варіанті стопорний елемент містить виступ, розташований в каналі, при цьому виступ виконаний з можливістю запобігання переміщенню конструктивного елемента за виступ у напрямку до світлового детектора. У іншому вдосконаленому варіанті стопорний елемент виконаний з можливістю підтримання відстані між кінцем конструктивного елемента і світловим детектором, що становить, щонайменше, приблизно 5 мм і не перевищує приблизно 300 мм.

Відповідно до ще однієї характеристики пристрій містить лінзу, яка виконана з можливістю фокусування світла, що виходить з оптичного волокна, на світловий детектор. Відповідно до ще однієї характеристики жорсткий несучий корпус містить метал. У одному вдосконаленому варіанті метал містить алюміній.

У ще одному варіанті здійснення розкритий інструмент для розрізання і полірування. Інструмент включає в себе плоский корпус, що містить різальну кромку, розташовану вздовж, щонайменше, одного краю плоского корпусу, і полірувальну поверхню, що покриває, щонайменше, частину плоского корпусу. Встановлювальний елемент функціонально з'єднаний з плоским корпусом і виконаний з можливістю функціонального виставлення подовженого конструктивного елемента, що має подовжню вісь, відносно плоского корпусу, так що різальна кромка плоского корпусу виконана з можливістю переміщення і розрізання подовженого конструктивного елемента по суті ортогонально до подовжньої осі для утворення поверхні, отриманої розрізанням. Полірувальна поверхня виконана з можливістю полірування поверхні, отриманої розрізанням, коли різальна кромка здійснює розрізання і переміщується через подовжений конструктивний елемент.

Вищезгаданий інструмент для розрізання і полірування може бути охарактеризований як такий, що має удосконалення елементів і/або додаткові елементи/ознаки, які можуть бути реалізовані окремо або в будь-якій комбінації. Відповідно до однієї характеристики плоский корпус є по суті круглим. У одному вдосконаленому варіанті двигун функціонально з'єднаний з плоским корпусом і виконаний з можливістю забезпечення обертання плоского корпусу навколо центральної осі плоского корпусу. У іншому вдосконаленому варіанті різальна кромка містить множину різальних зубців. У ще одному вдосконаленому варіанті різальна кромка містить абразивну поверхню. У ще одному вдосконаленому варіанті абразивна поверхня містить абразивне зерно, що має розмір, що становить, щонайменше, приблизно 35 мкм. Відповідно до іншої характеристики полірувальна поверхня містить абразивне зерно для полірування. У одному вдосконаленому варіанті зерно для полірування має розмір, що не перевищує приблизно 25 мкм. У іншому вдосконаленому варіанті полірувальна поверхня піднята над поверхнею плоского корпусу, щонайменше, на приблизно 0,1 мм і не більше, ніж на приблизно 1,2 мм. Відповідно до ще однієї характеристики привідний механізм виконаний з можливістю підтискання полірувальної поверхні до кінця подовженого конструктивного елемента. У одному вдосконаленому варіанті привідний механізм містить пружину.

Відповідно до ще однієї характеристики батарея забезпечує подачу живлення для переміщення плоского корпусу. У одному вдосконаленому варіанті батарея має напругу, що не перевищує приблизно 18 Вольт. У іншому вдосконаленому варіанті інструмент являє собою ручний інструмент, що містить елемент для захоплення, призначений для забезпечення захоплення інструмента і вільного маніпулювання ним. У одному вдосконаленому варіанті інструмент містить уловлювальний механізм, виконаний з можливістю уловлювання пилу, що утворюється на етапах розрізання і полірування.

Відповідно до ще одного варіанта здійснення розкритий спосіб виготовлення подовженого посилювального складового елемента, який складається з композиційного матеріалу, армованого волокнами, і який виконаний з можливістю використання в посилювальному елементі, що працює на розтягнення. Спосіб включає етапи утворення подовженого композиційного матеріалу, що армований волокнами і має подовжню центральну вісь, при цьому композиційний матеріал, армований волокнами, містить зв'язувальну матрицю і множину армувальних волокон, розміщених у зв'язувальній матриці. Під час етапу утворення композиційного матеріалу, армованого волокнами, щонайменше, перше оптичне волокно закладають в композиційний матеріал, армований волокнами, при цьому перше оптичне волокно проходить від першого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами, до другого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами. Композиційний матеріал, армований волокнами, розрізають поблизу першого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами, при цьому при розрізанні утворюють першу, отриману розрізанням, торцеву поверхню, яка є по суті плоскою. Після цього першу, отриману розрізанням, торцеву поверхню полірують для утворення подовженого посилювального складового елемента, який складається з композиційного матеріалу, армованого волокнами, і має поліровану першу торцеву поверхню, при цьому полірована перша торцева поверхня містить композиційний матеріал, армований волокнами, і перший кінець оптичного волокна.

Вищезгаданий спосіб може бути охарактеризований як такий, що має удосконалення і/або додаткові етапи, які можуть бути реалізовані окремо або в будь-якій комбінації. Відповідно до однієї характеристики спосіб включає етапи другого розрізання композиційного матеріалу, армованого волокнами, поблизу другого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами, при цьому при другому розрізанні утворюють другу, отриману розрізанням, торцеву поверхню, яка є по суті плоскою, і полірування другої, отриманою розрізанням, торцевої поверхні для утворення другої полірованої торцевої поверхні, що містить композиційний матеріал, армований волокнами, і другий кінець першого оптичного волокна.

Відповідно до іншої характеристики спосіб включає етапи закладання, щонайменше, другого оптичного волокна в композиційний матеріал, армований волокнами, під час етапу утворення композиційного матеріалу, армованого волокнами, при цьому друге оптичне волокно проходить від першого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами, до другого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами. У іншому вдосконаленому варіанті спосіб включає етап закладання, щонайменше, третього оптичного волокна в композиційний матеріал, армований волокнами, при цьому третє оптичне волокно проходить від першого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами, до другого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами. У додатковому вдосконаленому варіанті спосіб включає етап закладання, щонайменше, четвертого оптичного волокна в композиційний матеріал, армований волокнами, при цьому четверте оптичне волокно проходить від першого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами, до другого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами.

Відповідно до ще однієї характеристики оптичні волокна розміщують концентрично навколо подовжньої центральної осі посилювального складового елемента. У іншому вдосконаленому варіанті подовжня центральна вісь посилювального складового елемента вільна від оптичних волокон. Відповідно до ще однієї характеристики посилювальний складовий елемент має довжину, що становить, щонайменше, приблизно 3500 метрів. Відповідно до ще однієї характеристики посилювальний складовий елемент має довжину, що не перевищує приблизно 7500 метрів. Відповідно до ще однієї характеристики спосіб додатково включає етап намотування композиційного матеріалу, армованого волокнами, на котушку, перед етапами розрізання і полірування. Відповідно до ще однієї характеристики армувальні волокна містять вуглецеві волокна, які проходять у подовжньому напрямі. Відповідно до ще однієї характеристики етап утворення подовженого композиційного матеріалу, армованого волокнами, і закладання оптичних волокон включає витягнення армувальних волокон і оптичного (-их) волокна (волокон) за допомогою пристрою для пултрузії. У іншому вдосконаленому варіанті етап (-и) розрізання композиційного матеріалу, армованого волокнами, включає (-ють) розрізання за допомогою абразивної різальної кромки, що приводиться в рух. Відповідно до ще однієї характеристики абразивна різальна кромка містить абразивне зерно, що має розмір, що становить, щонайменше, приблизно 30 мкм. У іншому вдосконаленому варіанті абразивну різальну кромку, що приводиться в рух, приводять у обертання за допомогою двигуна під час етапу розрізання.

Відповідно до ще однієї характеристики спосіб включає етап закріплення першого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами, так, щоб перший кінець був розміщений по суті ортогонально відносно різальної кромки під час етапу розрізання. У іншому вдосконаленому варіанті етап полірування включає полірування першої, отриманої розрізанням, торцевої поверхні полірувальною поверхнею. У ще одному вдосконаленому варіанті полірувальна поверхня містить абразивне зерно, що має розмір зерна, що не перевищує приблизно 25 мкм. Відповідно до ще однієї характеристики спосіб включає етап охолодження першого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами, перед етапом полірування і/або під час етапу полірування.

ОПИС КРЕСЛЕНЬ

Фіг. 1A і 1B ілюструють види в перспективі неізолюваних повітряних електричних кабелів.

Фіг. 2A і 2B ілюструють поперечні перерізи посилювальних складових елементів з композиційного матеріалу, які виконані з можливістю використання в повітряному електричному кабелі.

Фіг. 3A-3F ілюструють поперечні перерізи посилювальних складових елементів з композиційного матеріалу, що включають в себе оптичні волокна, згідно з варіантами здійснення даного розкриття винаходу.

Фіг. 4 ілюструє схематичний вигляд системи для визначення стану посилювального елемента з композиційного варіанта згідно з варіантом здійснення даного розкриття винаходу.

Фіг. 5 ілюструє світлопередавальний пристрій згідно з варіантом здійснення даного розкриття винаходу.

Фіг. 6 ілюструє пристрій виявлення світла згідно з варіантом здійснення даного розкриття винаходу.

Фіг. 7A і 7B ілюструють інструмент для розрізання і полірування згідно з варіантом здійснення даного розкриття винаходу.

ОПИС ВАРІАНТІВ ЗДІЙСНЕННЯ

Дане розкриття винаходу направлене на системи, способи, компоненти і інструменти, які забезпечують можливість визначення стану посилювального елемента з композиційного

матеріалу, армованого волокнами, для визначення конструктивної цілісності посилювального елемента з композиційного матеріалу.

Що стосується термінів, що використовуються в даному розкритті винаходу, то посилювальний елемент (strength member) з композиційного матеріалу, армованого волокнами, являє собою конструктивний елемент з композиційного матеріалу, армованого волокнами, що використовується в деякій галузі застосування (наприклад, в неізолюваному повітряному електричному кабелі), наприклад, внаслідок його малої ваги і хороших механічних властивостей (наприклад, високої міцності на розрив) порівняно, наприклад, зі сталлю. Композиційний матеріал, армований волокнами, включає в себе армувальні волокна в зв'язувальній матриці. Посилювальний елемент може містити один (тобто, не більше, ніж один) посилювальний складовий елемент (strength element) (наприклад, являє собою однокомпонентний посилювальний елемент з композиційного матеріалу, армованого волокнами) або може складатися з декількох посилювальних складових елементів з композиційного матеріалу, які з'єднані (наприклад, скручені, звиті або іншим чином зв'язані разом) для формування посилювального елемента. По суті, в даному розкритті винаходу терміни «посилювальний елемент» і «посилювальний складовий елемент» можуть використовуватися як взаємозамінні, зокрема, тоді, коли посилювальний елемент включає в себе один посилювальний складовий елемент.

Системи і способи для визначення стану, розкриті в даному документі, можуть передбачати використання посилювального елемента, який виконаний зі специфічною конфігурацією для використання в даних системах і способах і з можливістю використання в аналогічних системах і способах. У одному варіанті здійснення розкриті системи і способи для визначення стану посилювального елемента з армованого волокнами композиційного матеріалу, при цьому посилювальний елемент з композиційного матеріалу включає в себе посилювальний складовий елемент з композиційного матеріалу, армованого волокнами, що має, щонайменше, перше оптичне волокно, розміщене в посилювальному складовому елементі, світлопередавальний пристрій, функціонально з'єднаний з першим кінцем посилювального складового елемента, і пристрій виявлення світла, функціонально з'єднаний з другим кінцем посилювального складового елемента. Системи і способи виконані з можливістю визначення стану посилювального елемента для визначення того, чи погіршені конструктивні характеристики посилювального елемента. Системи і способи є економічними і відносно прості в реалізації в будь-який момент в процесі виготовлення і монтажу посилювального елемента.

Згідно з даним розкриттям винаходу посилювальний елемент з композиційного матеріалу, армованого волокнами, може мати одну або більше характеристик, які забезпечують можливість визначення стану посилювального елемента в системі і способі визначення стану, хоча характеристики посилювального елемента, що складається з композиційного матеріалу, армованого волокнами, і розкритого в даному документі, можуть також сприяти його використанню в інших системах і в інших способах.

Посилювальні елементи можуть бути використані в дуже різних застосуваннях в конструктивних елементах, зокрема, як посилювальний елемент, що працює на розтягнення. У одному конкретному варіанті здійснення посилювальний елемент з композиційного матеріалу, армованого волокнами, виконаний з можливістю використання в повітряному електричному кабелі, наприклад, неізолюваному повітряному електричному кабелі. Як зазначено вище, повітряні електричні кабелі для передачі і/або розподілу електроенергії, як правило, включають в себе центральний посилювальний елемент і електричний провідник, що розміщений навколо посилювального елемента і що спирається на нього. Незважаючи на те, що посилювальний елемент традиційно виготовляли зі сталі, такі сталеві посилювальні елементи все більше замінюються посилювальними елементами, виготовленими із композиційних матеріалів, зокрема, з армованих волокнами композиційних матеріалів, які забезпечують багато істотних переваг. Такі посилювальні елементи з композиційних матеріалів, армованих волокнами, можуть включати в себе один посилювальний складовий елемент (наприклад, один стрижень) з композиційного матеріалу, армованого волокнами, як проілюстровано на фіг. 1А. Приклад такої конфігурації розкритий в патенті США № 7,368,162 на ім'я Hiel і інш., вказаному вище. У альтернативному варіанті посилювальний елемент з композиційного матеріалу може складатися з множини окремих посилювальних елементів (наприклад, окремих стрижнів) з композиційного матеріалу, армованого волокнами, які функціонально з'єднані (наприклад, скручені або звиті разом) для формування посилювального елемента, як проілюстровано на фіг. 1В. Приклади таких багатокомпонентних посилювальних елементів з композиційного матеріалу включають, серед іншого, посилювальний елемент з композиційного матеріалу з алюмінієвою матрицею, проілюстрований в патенті США № 6,245,425 на ім'я McCullough і інш.,

багатокомпонентний посилювальний елемент з вуглецевими волокнами, проілюстрований в патенті США № 6,015,953 на ім'я Tosaka і інш., і багатокомпонентний посилювальний елемент, проілюстрований в патенті США № 9,685,257 на ім'я Daniel і інш. Кожний з цих патентів США повністю включений в даний документ шляхом посилання. Можуть бути використані інші конфігурації посилювального елемента з композиційного матеріалу, армованого волокнами.

Якщо знову звернутися до варіанта здійснення за фіг. 1А, можна бачити, що повітряний електричний кабель 120А включає в себе перший провідний шар 122а, що містить множину струмопровідних жил 124а, які намотані по спіралі навколо посилювального елемента 126, який складається з композиційного матеріалу, армованого волокнами, і містить один посилювальний складовий елемент 127 з композиційного матеріалу, армованого волокнами. Струмопровідні жили 124а можуть бути виготовлені із провідних металів, таких як мідь або алюміній, і для використання в неізольованих повітряних електричних кабелях вони, як правило, виготовлені з алюмінію, наприклад, зміцненого алюмінію, відпаленого алюмінію і/або алюмінієвих сплавів. Провідні матеріали, наприклад, алюміній, не мають механічних характеристик (наприклад, достатньої міцності на розрив), достатніх для того, щоб вони були самопідтримними при підвішуванні між баштовими опорами для утворення повітряної лінії електропередачі, призначеної для передачі і/або розподілу електроенергії. Отже, повітряний електричний кабель 120А включає в себе посилювальний елемент 126 для забезпечення опори для провідних шарів 124а/124b, коли повітряний електричний кабель 120А підвішений між баштовими опорами під високим механічним натягненням.

Як проілюстровано на фіг. 1А, струмопровідні жили 124а/124b мають по суті трапецієподібний поперечний переріз, хоча можуть бути використані і інші конфігурації, такі як круглі поперечні перерізи. Використання багатокутних поперечних перерізів, таких як трапецієподібний поперечний переріз, забезпечує переважне збільшення площі поперечного перерізу провідного металу при тому ефективному діаметрі кабелю, наприклад, порівняно з жилами, що мають круглий поперечний переріз. Як проілюстровано на фіг. 1А, повітряний електричний кабель 120А включає в себе другий провідний шар 122b, що є типовим, при цьому провідний шар 122b містить множину струмопровідних жил 124b, які намотані по спіралі навколо першого провідного шару 122а. Потрібно розуміти, що такі повітряні електричні кабелі можуть включати в себе один провідний шар або більше двох провідних шарів залежно від заданого застосування повітряного електричного кабелю.

Фіг. 1В ілюструє варіант здійснення повітряного електричного кабелю 120В, який аналогічний електричному кабелю, проілюстрованому на фіг. 1А, при цьому посилювальний елемент 128 містить множину окремих армованих волокнами посилювальних складових елементів (наприклад, посилювальних складових елементів 129), які звиті або скручені разом для формування посилювального елемента 128. Незважаючи на те, що посилювальний елемент, проілюстрований на фіг. 1В, включає в себе сім окремих посилювальних складових елементів, потрібно розуміти, що багатокомпонентний посилювальний елемент може включати в себе будь-яку кількість посилювальних складових елементів, що відповідає конкретному застосуванню.

Фіг. 2А і 2В ілюструють поперечні перерізи двох прикладів посилювального складового елемента з композиційного матеріалу, армованого волокнами. Фіг. 2А ілюструє армований волокнами посилювальний складовий елемент 220А, що має внутрішню серцевину 228А, яка включає в себе вуглецеві армувальні волокна, які проходять у подовжньому напрямку, в полімерній матриці, наприклад, в термопластичному полімері або терморективному полімері. Внутрішня серцевина 228А оточена зовнішнім полімерним шаром 230А, виготовленим з ізолюючого полімеру (наприклад, полімеру з високою діелектричною проникністю), такого як ПЕЕК (поліетірефіркетон). Шар 230А захищає вуглецеві волокна внутрішньої серцевини 228А від контакту з провідним шаром (див. Фіг. 1), який може викликати електрохімічну корозію алюмінію. У варіанті здійснення, проілюстрованому на Фіг. 2В, посилювальний складовий елемент 220В включає в себе внутрішню серцевину 228В з вуглецевих волокон, які проходять у подовжньому напрямку, в полімерній матриці і зовнішній шар 230В з ізолюючого скловолокон (наприклад, безперервних скловолокон) у полімерній матриці. Зовнішній шар 230В зі скловолокон забезпечує надійний захист вуглецевих волокон від контакту з провідним шаром і надає підвищену гнучкість посилювальному складовому елементу 220В, так що посилювальний складовий елемент і електричний кабель можуть бути намотані на котушку для зберігання і транспортування без пошкодження посилювального складового елемента 220В. Як правило, коли посилювальний елемент утворений з множини посилювальних складових елементів, окремі посилювальні складові елементи будуть мати менший діаметр, ніж однокомпонентний посилювальний елемент. Див. вищезгадані Фіг. 1А і 1В. Такі посилювальні елементи можуть

включати в себе шар (наприклад, обгортку), що оточує пучок посилювальних складових елементів. Також потрібно розуміти, що не всі посилювальні елементи потребують ізолюючого шару.

Як зазначено вище, композиційний матеріал, армований волокнами, з якого створені посилювальні складові елементи, включає в себе армувальні волокна, які функціонально розміщені у зв'язувальній матриці. Армувальні волокна можуть являти собою по суті безперервні армувальні волокна, які проходять вздовж довжини композиційного матеріалу, армованого волокнами, і/або можуть включати короткі армувальні волокна (наприклад, ниткоподібні кристали або рубані волокна), які дисперговані по зв'язувальній матриці. Армувальні волокна можуть бути вибрані з широкого ряду матеріалів, включаючи, серед іншого, вуглець, скло, бор, оксиди металів, карбіди металів, високоміцні полімери, такі як арамідні волокна або фторполімерні волокна, базальтові волокна і тому подібне. Вуглецеві волокна є особливо переважними в багатьох застосуваннях внаслідок їх дуже високої міцності на розрив і/або внаслідок їх відносно низького коефіцієнта теплового розширення (СТЕ).

Зв'язувальна матриця може включати в себе, наприклад, пластик (наприклад, полімер), такі як термопластичний полімер або термореактивний полімер. Наприклад, зв'язувальна матриця може включати в себе термопластичний полімер, включаючи напівкристалічні термопласти. Конкретні приклади придатних термопластів включають, серед іншого, поліефірефіркетон (ПЕЕК), поліпропілен (ПП), поліфеніленсульфід (PPS), поліефірімід (PEI), рідкокристалічний полімер (LCP), поліоксиметилен (ПОМ або ацеталь), поліамід (ПА або нейлон), поліетилен (ПЕ), фторполімери і термопластичні складні поліефіри. Інші приклади полімерних матеріалів, придатних для зв'язувальної матриці, можуть включати приєднання, що зшиваються шляхом реакції, фенольні смоли, наприклад, бісмалеїміди (BMI), поліефіраміди, різні ангідриди або іміди.

Зв'язувальна матриця може також включати в себе термореактивний полімер. Приклади придатних термореактивних полімерів включають, серед іншого, бензоксазин, термореактивні полііміди (PI), поліефірамідну смолу (PEAR), фенольні смоли, вінілефірні смоли на основі епоксидної смоли, поліціанатні смоли і смоли на основі ціанатного ефіру. У одному ілюстративному варіанті здійснення в зв'язувальній матриці використовується вінілефірна смола. Інший варіант здійснення передбачає застосування епоксидної смоли, такої як епоксидна смола, яка являє собою продукт реакції епіхлоргідрину і бісфенолу А, дигліцидиловий ефір бісфенолу А (DGEBA). Отверджувальні агенти (наприклад, отверджувачі) для епоксидних смол можуть бути вибрані відповідно до заданих властивостей посилювального елемента з композиційного матеріалу, армованого волокнами, і способу обробки. Наприклад, отверджувальні агенти можуть бути вибрані з аліфатичних поліамінів, поліамідів і модифікованих варіантів даних сполук. Ангідриди і ізоціанати також можуть бути використані як отверджувальні агенти.

Зв'язувальна матриця також може являти собою металеву матрицю, таку як алюмінієва матриця. Один приклад композиційного матеріалу з алюмінієвою матрицею, армованого волокнами, проілюстрований в патенті США № 6,245,425 на ім'я McCullough і інш., вказаному вище.

Одна конфігурація посилювального елемента, що складається з композиційного матеріалу і призначений для повітряного електричного кабелю, яка є особливо переважною, являє собою конфігурацію кабелю ACCC®, що утворений з композиційного матеріалу і постачається компанією CTC Global Corporation, Irvine, Каліфорнія, і проілюстрована в патенті США № 7,368,162 на ім'я Hiel і інш., вказаному вище. У промислово реалізованому варіанті здійснення електричного кабелю ACCC® посилювальний елемент являє собою однокомпонентний посилювальний елемент з по суті круглим поперечним перерізом, який включає в себе внутрішню серцевину з по суті безперервних армувальних вуглецевих волокон, розміщених в полімерній матриці. Серцевина з вуглецевих волокон оточена міцним ізолюючим шаром зі скловолокон, які також розміщені в полімерній матриці і вибрані для ізоляції вуглецевих волокон від оточуючих струмопровідних алюмінієвих жил. Див. Фіг. 2В. Скловолокна також мають більш високий модуль пружності, ніж вуглецеві волокна, і забезпечують здатність до згинання, так що посилювальний елемент і електричний кабель можуть бути намотані на котушку для зберігання і транспортування.

Посилювальні елементи, які складаються з композиційного матеріалу, армованого волокнами, і які можуть використовуватися в повітряних електричних кабелях, можна охарактеризувати в різних аспектах. Однією характеристикою може бути довжина посилювального елемента. Наприклад, посилювальні елементи для повітряних електричних кабелів, як правило, виготовляють з дуже великими довжинами. Відповідно до деяких

характеристик посилювальний елемент у стані після виготовлення може мати довжину, що становить, щонайменше, приблизно 1000 метрів, наприклад, щонайменше, приблизно 3500 метрів, наприклад, щонайменше, приблизно 5000 метрів або навіть, щонайменше, приблизно 7500 метрів. Часто відразу після виготовлення посилювального елемента посилювальний елемент, як правило, намотують навколо котушки (наприклад, бобини) для зберігання і/або транспортування посилювального елемента, наприклад, для транспортування до обладнання для скручування, на якому посилювальний елемент скручують разом з провідником для утворення електричного кабелю. Незважаючи на те, що посилювальний елемент за даним розкриттям винаходу не має конкретної верхньої межі його довжини, на практиці котушка для зберігання/транспортування буде мати максимальну місткість, відповідну посилювальному елементу з довжиною, що не перевищує приблизно 9000 метрів, наприклад, що не перевищує приблизно 8000 метрів. Потрібно розуміти, що максимальна місткість котушки буде залежати від діаметра посилювального елемента (або, наприклад, від кількості посилювальних складових елементів, які створюють посилювальний елемент), який намотаний навколо котушки.

Довжина посилювального елемента з композиційного матеріалу, армованого волокнами, також може бути охарактеризована в стані, коли утворений електричний кабель, наприклад, коли посилювальний елемент скручений разом з провідником. Як зазначено вище, це, як правило, відбувається під час операції скручування, на якій посилювальний елемент витягують із котушки, скручують разом з провідником (наприклад, зі струмопровідними жилами), і утворений таким способом електричний кабель намотують навколо іншої котушки для зберігання і/або транспортування електричного кабелю. Оскільки струмопровідні жили створюють додатковий об'єм, крім об'єму посилювального елемента, довжина електричного кабелю, який може зберігатися на котушці, зменшена порівняно з довжиною посилювального елемента самого по собі. Таким чином, наприклад, довжина електричного кабелю і довжина посилювального елемента в цьому стані, як правило, не перевищують приблизно 4500 метрів, наприклад, не перевищують приблизно 4000 метрів.

Довжину електричного кабелю і посилювального елемента з композиційного матеріалу, армованого волокнами, який створює його основу, також можна визначити в стані, коли електричний кабель змонтований на баштових опорах для утворення лінії електропередачі. Для утворення лінії електропередачі електричний кабель витягують із котушки і функціонально приєднують до баштових опор (наприклад, опорних стояків) так, щоб електричний кабель був підвішений на безпечній відстані над землею. Електричний кабель повинен бути розрізаний з певними інтервалами вздовж траєкторії лінії електропередачі і знову з'єднаний за допомогою пристроїв для з'єднання кабелів, таких як провідні з'єднувачі/сплайси або кінцеві опори. Довжина електричного кабелю може бути такою, як відстань між двома сусідніми баштовими опорами (наприклад, коли лінія електропередачі робить поворот), або може відповідати сумі відстаней між декількома баштовими опорами до того, як електричний кабель буде розрізаний і знову з'єднаний за допомогою використання з'єднувальних пристроїв. Таким чином, змонтований електричний кабель і посилювальний елемент, який створює його основу, можуть мати довжину, що становить, щонайменше, приблизно 50 метрів, наприклад, щонайменше, приблизно 100 метрів, наприклад, щонайменше, приблизно 250 метрів або більше або, щонайменше, приблизно 500 метрів або більше. Деякі лінії електропередачі можуть мати довжину однієї ділянки кабелю, що становить до приблизно 3000 метрів, наприклад, у випадку ліній, протягнутих з одним прольотом через ріки або гірські долини, або ліній, що проходять через ділянку місцевості, яка не має розривів, і що спираються на множину баштових опор, які створюють множину прольотів.

Як зазначено вище, посилювальний елемент з композиційного матеріалу, армованого волокнами, може мати ряд діаметрів, наприклад, діаметр круглого поперечного перерізу, ефективний діаметр некруглого поперечного перерізу або ефективний діаметр множини звитих або скручених посилювальних складових елементів з композиційного матеріалу, які утворюють посилювальний елемент. Незважаючи на те, що відсутнє конкретне нижнє граничне значення діаметра, діаметр, як правило, буде становити, щонайменше, приблизно 1 мм, наприклад, щонайменше, приблизно 2 мм або, щонайменше, приблизно 3 мм. Аналогічно, хоча відсутнє конкретне верхнє граничне значення діаметра посилювального елемента, діаметр, як правило, буде становити не більше приблизно 30 мм, наприклад, не більше приблизно 20 мм, наприклад, не більше приблизно 15 мм, наприклад, не більше приблизно 11 мм.

Посилювальні елементи з армованого волокнами композиційного матеріалу, які виконані з можливістю використання в повітряному електричному кабелі, можна також охарактеризувати відносно мінімальної міцності на розрив, яка необхідна для забезпечення їх безпечного монтажу на баштових опорах під високим механічним натягненням. У зв'язку з цим звичайно

бажано, щоб посилювальний елемент мав межу міцності на розрив, що становить, щонайменше, приблизно 1900 МПа, наприклад, щонайменше, приблизно 2000 МПа, наприклад, щонайменше, приблизно 2050 МПа. На практиці відсутнє верхнє граничне значення міцності на розрив посилювального елемента, оскільки, як правило, бажано мати якомога більш високу

5 міцність на розрив. У результаті верхнє граничне значення міцності на розрив обмежене тільки доступними матеріалами, наприклад, міцністю на розрив доступних армувальних волокон. З урахуванням міцності на розрив доступних в цей час армувальних волокон верхня межа міцності на розрив, що забезпечується на практиці, становить приблизно 3500 МПа.

Незважаючи на те, що міцність на розрив являє собою одну основну характеристику

10 посилювального елемента з армованого волокнами композиційного матеріалу, інші характеристики можуть бути бажаними для використання в конкретному застосуванні, наприклад, у повітряному електричному кабелі. Наприклад, також бажано, щоб посилювальний елемент у повітряному електричному кабелі мав низький коефіцієнт теплового розширення (СТЕ) для зменшення виникнення провисання лінії при перегріванні лінії електропередачі.

15 Наприклад, посилювальний елемент може мати коефіцієнт теплового розширення, що не перевищує приблизно $30 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, наприклад, що не перевищує приблизно $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, наприклад, що не перевищує приблизно $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, наприклад, що не перевищує приблизно $7,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, наприклад, що не перевищує приблизно $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ або навіть що не перевищує приблизно $2,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Відповідно до однієї характеристики коефіцієнт теплового розширення

20 посилювального елемента не перевищує приблизно $2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. У деяких варіантах здійснення посилювальний елемент може навіть мати невеликий негативний коефіцієнт теплового розширення, наприклад, до приблизно $-0,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

Незважаючи на те, що вищенаведені характеристики армованого волокнами посилювального елемента розкриті як бажані для використання в повітряному електричному кабелі, аналогічні характеристики також можуть бути бажаними, коли посилювальні елементи,

25 розкриті в даному документі, використовуються в інших конструктивних елементах, таких як канати для висячих мостів і несучі триси.

Згідно з даним розкриттям винаходу посилювальний елемент з композиційного матеріалу, армованого волокнами, включає в себе, щонайменше, один посилювальний складовий

30 елемент з композиційного матеріалу, армованого волокнами, і посилювальний складовий елемент включає в себе, щонайменше, одне подовжене і безперервне оптичне волокно. Оптичне волокно може бути закладене в композиційний матеріал, армований волокнами (наприклад, в зв'язувальну матрицю), і може пройти від першого кінця посилювального складового елемента до другого кінця посилювального складового елемента. Оптичне волокно

35 виконане з можливістю пропускання/передачі світла від першого кінця посилювального складового елемента до другого кінця посилювального складового елемента. При належних виборі оптичного (-их) волокна (волокон), розміщенні оптичного волокна (оптичних волокон) і підготовці кінців посилювального складового елемента з композиційного матеріалу, армованого волокнами, стан посилювального складового елемента може бути визначений за допомогою

40 використання системи і способу, розкритих в даному документі, для оцінки конструктивної цілісності посилювального складового елемента, наприклад, для оцінки конструктивної цілісності посилювального елемента, який включає в себе посилювальний складовий елемент. Хоча можна використати одне оптичне волокно, ефективність систем і способів, розкритих в даному документі, може бути підвищена за рахунок включення множини оптичних волокон, розміщених на відстані одне від одного в композиційному матеріалі, армованому волокнами. По

45 суті, дане розкриття винаходу може стосуватися застосування оптичних волокон (наприклад, множини оптичних волокон), навіть незважаючи на те, що дане розкриття винаходу не обмежене цим.

Термін «оптичне волокно», що використовується в даному документі, стосується

50 подовженого і безперервного волокна, яке виконане з можливістю пропускання падаючого світла на всій довжині волокна. Як правило, оптичні волокна включають в себе пропускаючу сердцевину і оболонку, яка оточує сердцевину і яка виготовлена з іншого матеріалу (наприклад, який має інший показник заломлення) для зменшення втрат світла, яке виходить з пропускаючої сердцевини, наприклад, через зовнішню сторону оптичного волокна. Це відрізняється,

55 наприклад, від конструкційного волокна (наприклад, конструкційного скловолокна), яке має однорідний склад і, як правило, розміщене в композиційному матеріалі у вигляді джгута волокон, тобто нескрученого пучка окремих елементарних волокон.

Оптичні волокна, що використовуються в посилювальному складовому елементі, можуть являти собою, наприклад, одномодові оптичні волокна або багатомодові оптичні волокна.

60 Одномодове оптичне волокно має пропускаючу сердцевину з малим діаметром (наприклад, з

діаметром, що становить приблизно 9 мкм), оточену оболонкою, що має діаметр, що становить приблизно 125 мкм. Одномодові волокна виконані з можливістю забезпечення поширення світла тільки однієї моди. Багатомодове оптичне волокно має пропускаючу серцевину більшого розміру (наприклад, з діаметром, що становить приблизно 50 мкм або більше), яка забезпечує

5 можливість поширення світла з множиною мод. Перевагою даного розкриття винаходу є те, що в системі і способі визначення стану може використовуватися оптичне волокно фактично будь-якого типу, і, отже, одномодові оптичні волокна можуть бути переважними внаслідок їх відносно

10 низької вартості порівняно з багатомодовими оптичними волокнами. Оптичні волокна можуть бути виготовлені повністю з одного або більше полімерів. Однак полімерні оптичні волокна можуть не мати термостійкості, достатньої для витримання умов при виготовленні і/або використанні посилювального складового елемента, і в цей час переважно використовувати одномодові скловолокна.

Оптичні волокна можуть бути розташовані прямолинійно вздовж довжини посилювального складового елемента. Іншими словами, оптичні волокна можуть бути орієнтовані в

15 подовжньому напрямку і можуть бути колінеарними відносно центральної подовжньої осі посилювального складового елемента. У альтернативній конструкції одне або більше з оптичних волокон можуть бути непрямолинійними, тобто можуть бути намотані (наприклад, закручені по спіралі) відносно центральної подовжньої осі посилювального складового елемента.

Однією ознакою посилювального складового елемента з композиційного матеріалу, армованого волокнами, згідно з даним розкриттям винаходу є те, що, щонайменше, один кінець посилювального складового елемента має торцеву поверхню, яка виконана з можливістю сприяння передачі світла (наприклад, інфрачервоного випромінювання) через посилювальний

20 складовий елемент, наприклад, в оптичне волокно, розміщене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, за відсутності необхідності в ізолюванні (наприклад, відділенні) оптичного волокна від композиційного матеріалу, армованого волокнами. Оскільки оптичні волокна мають надзвичайно малий розмір (наприклад, мають діаметр, що становить тільки

25 приблизно 250 мкм, включаючи зовнішнє покриття), ускладнене швидке визначення їх місцеположення (наприклад, візуальне визначення місцеположення) в композиційному матеріалі, армованому волокнами. Згідно з даним розкриттям винаходу не потрібно ізолювати оптичне волокно (наприклад, кінець оптичного волокна) від армованого волокнами композиційного матеріалу, що оточує оптичне волокно, для реалізації системи і способу визначення стану. Тобто, посилювальний складовий елемент може бути виконаний з такою

30 конфігурацією, що оптичне волокно буде закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і не буде виступати за торцеву поверхню композиційного матеріалу, армованого волокнами. Для більшості застосувань буде бажаним, щоб кожний кінець посилювального складового елемента (наприклад, перший і другий кінці) був виконаний з конфігурацією, що забезпечує можливість пропускання світла в посилювальний складовий елемент на першому

35 кінці і виходу світла з посилювального складового елемента і його виявлення на другому кінці.

Відповідно до іншої характеристики торцева поверхня посилювального складового елемента може бути охарактеризована як дуже гладка. Наприклад, торцева поверхня може бути охарактеризована як полірована торцева поверхня, наприклад, відполірована для видалення виступів, шорсткостей або інших малих поверхневих елементів. Як розглянуто

40 нижче, торцева поверхня посилювального складового елемента може бути відполірована за допомогою відносно дрібного абразивного зерна для видалення поверхневих елементів, які можуть бути результатом розрізання посилювального складового елемента різальним ножом.

Відповідно до ще однієї характеристики торцева поверхня посилювального складового елемента може бути описана як по суті ортогональна до центральної подовжньої осі посилювального складового елемента. Тобто, торцева поверхня може бути охарактеризована

50 як плоска поверхня, яка орієнтована під кутом, що становить 90° або дуже близьким до 90° , відносно подовжньої осі. У контексті даного документа «по суті ортогональна» означає, що торцева поверхня орієнтована, щонайменше, під кутом, що становить $90^\circ \pm 5^\circ$, відносно подовжньої осі. Відповідно до однієї характеристики торцева поверхня орієнтована під кутом, що становить $90^\circ \pm 2^\circ$, відносно подовжньої осі посилювального складового елемента.

55 Наприклад, торцева поверхня може бути орієнтована під кутом, що становить $90^\circ \pm 1^\circ$, відносно подовжньої осі, наприклад, під кутом, що становить $90^\circ \pm 0,5^\circ$, відносно подовжньої осі. Така ортогональна торцева поверхня може бути утворена, наприклад, за допомогою відрізання кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами, коли композиційний матеріал утримується (наприклад, затиснутий) в такому ортогональному положенні відносно різального ножа, який

60 використовується для відрізання кінця композиційного матеріалу. Було виявлено, що утворення

торцевої поверхні, розташованої ортогонально відносно подовжньої осі посилювального складового елемента, може сприяти передачі світла в оптичні волокна і з них за відсутності необхідності в обов'язковому безпосередньому (наприклад, фізичному) з'єднанні джерела світла з оптичним волокном і за відсутності необхідності визначення (наприклад, візуальної ідентифікації) місця розташування оптичного волокна в композиційному матеріалі. Один приклад інструмента, який може бути використаний для утворення такої торцевої поверхні, описаний нижче.

Система і спосіб, розкриті в даному документі і призначені для визначення стану посилювального складового елемента, можуть бути використані для оцінки конструктивної цілісності посилювального складового елемента, наприклад, для визначення того, чи має посилювальний складовий елемент (наприклад, композиційний матеріал, армований волокнами) які-небудь тріщини або інші аналогічні дефекти, наприклад, викликані виготовленням посилювального складового елемента або маніпулюванням ним. Для забезпечення надійної оцінки і залежно від розміру і конфігурації (наприклад, діаметра і/або поперечного перерізу) посилювального складового елемента може бути також бажаним, щоб посилювальний складовий елемент включав в себе, щонайменше, друге подовжене і безперервне оптичне волокно, наприклад, закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами. Посилювальний складовий елемент може також включати в себе, щонайменше, третє оптичне волокно або навіть, щонайменше, четверте оптичне волокно для забезпечення надійної оцінки, наприклад, для збільшення імовірності виявлення того, що тріщина в композиційному матеріалі, армованому волокнами, буде також порушувати цілісність (наприклад, розривати) оптичне волокно, наприклад, спричиняти значне зменшення або усунення світлопропускання через оптичне волокно. Множина оптичних волокон особливо доцільна при використанні одного посилювального складового елемента як посилювального елемента. Бажано, щоб оптичні волокна відповідали характеристикам, вказаним вище, наприклад, щоб оптичні волокна не виступали за торцеву (-і) поверхню (-і) композиційного матеріалу, армованого волокнами.

Коли посилювальний складовий елемент з композиційного матеріалу, армованого волокнами, включає в себе три або більше оптичних волокон, оптичні волокна можуть бути розміщені концентрично навколо подовжньої центральної осі посилювального складового елемента і можуть бути розміщені на однаковій відстані від подовжньої осі і/або на однаковій відстані одне від одного. Це може підвищити здатність системи і способу виявляти дефекти в композиційному матеріалі, армованому волокнами, за рахунок рівномірного розподілу оптичних волокон по поперечному перерізу посилювального складового елемента. У одному конкретному варіанті здійснення посилювальний складовий елемент включає в себе, щонайменше, чотири оптичні волокна, які розміщені концентрично навколо подовжньої осі і знаходяться на приблизно однакових відстанях одне від одного, наприклад, під кутами, що становлять приблизно 90°, в поперечному перерізі посилювального складового елемента. Відповідно до однієї характеристики подовжня центральна вісь посилювального складового елемента вільна від оптичних волокон, наприклад, посилювальний складовий елемент не має центрально розташованого оптичного волокна. Вважають, що розміщення оптичного волокна вздовж центральної осі не буде значно сприяти ефективності системи і способу визначення стану, оскільки існує дуже низька імовірність того, що тріщина буде проходити поруч з центральною віссю посилювального складового елемента, не проходячи також при цьому дуже близько від одного або більше з оптичних волокон і не розриваючи одне або більше з оптичних волокон, які розміщені навколо центральної осі і на відстані від неї.

У варіантах здійснення, описаних вище, в яких посилювальний складовий елемент містить центральну серцевину композиційного матеріалу, що містить армувальні волокна, таку як серцевина, що містить вуглецеві волокна, і ізолюючий шар, що оточує центральну серцевину, такий як шар зі скловолокон в зв'язувальній матриці, оптичні волокна можуть бути переважно закладені в різних місцях в композиційному матеріалі, армованому волокнами, тобто на різних відстанях від центральної осі і/або під різними кутами відносно центральної осі серцевини на межі розділу центральної серцевини і ізолюючого шару. Розміщення на даній межі розділу може підвищити імовірність того, що оптичні волокна будуть піддані розриву при виникненні тріщини в посилювальному складовому елементі.

На Фіг. 3A-3F проілюстровані поперечні перерізи посилювальних складових елементів згідно з варіантами здійснення даного розкриття винаходу. Конфігурація перерізів посилювальних складових елементів 326A-326F, армованих волокнами, аналогічна посилювальному складовому елементу, проілюстрованому на Фіг. 2B, і включає внутрішню серцевину з волокон із високою міцністю на розрив, оточених зовнішнім шаром з ізолюючого матеріалу, наприклад,

внутрішню серцевину, що містить вуглецеві волокна, оточені зовнішнім шаром, що містить скловолокна. Як проілюстровано на Фіг. 3А, посилювальний складовий елемент 326А включає в себе чотири оптичні волокна 323а-d, які розміщені концентрично в посилювальному складовому елементі 426 навколо центральної осі і на відстані від неї. Як проілюстровано на Фіг. 3А, волокна 323а-d розміщені на межі 329А розділу або дуже близько до межі 329А розділу між внутрішньою серцевиною 328А і зовнішнім шаром 330А. Чотири оптичні волокна також розподілені рівномірно навколо центральної осі, наприклад, розташовані на кутових відстанях одне від одного, що становлять приблизно 90°. Як проілюстровано на Фіг. 3В, оптичні волокна 323е-g розміщені дуже близько до зовнішньої поверхні посилювального складового елемента 326В і розташовані на кутових відстанях одне від одного, що становлять приблизно 120°. Розміщення дуже близько до зовнішньої поверхні може бути переважним для раннього виявлення тріщин, які виникають (наприклад, починаються) на зовнішній поверхні. Однак оптичні волокна 323е-g не повинні бути розміщені так близько до зовнішньої поверхні, що вони будуть відкриті для впливу і піддаватися пошкодженням, наприклад, внаслідок безпосереднього контакту із зовнішнім провідним шаром. Фіг. 3С ілюструє варіант здійснення посилювального складового елемента 326С, в якому чотири оптичні волокна 323h-323k закладені у внутрішній серцевині 328С. Фіг. 3D ілюструє варіант здійснення посилювального складового елемента 326D, в якому п'ять оптичних волокон розміщені на межі 329D розділу між внутрішньою серцевиною 328D і зовнішнім шаром 330D. П'ять оптичних волокон розташовані на по суті однаковій відстані від центральної осі посилювального складового елемента і розташовані на по суті однаковій відстані одне від одного, наприклад, розташовані на кутових відстанях одне від одного, що становлять приблизно 72°. Фіг. 3D ілюструє, що посилювальний складовий елемент може включати в себе будь-яку кількість оптичних волокон, включаючи п'ять або більше оптичних волокон. Фіг. 3Е ілюструє варіант здійснення посилювального складового елемента 326Е, в якому оптичні волокна першої групи розміщені на першій відстані від центральної осі посилювального складового елемента, і оптичні волокна другої групи розміщені на другій відстані від центральної осі, при цьому друга відстань відрізняється від першої відстані. Фіг. 3F ілюструє варіант здійснення посилювального складового елемента 326F, в якому оптичне волокно розміщене вздовж центральної осі посилювального складового елемента 326F і оточене оптичними волокнами, які розташовані на відстані від центральної осі. Потрібно розуміти, що варіанти розташування оптичних волокон в посилювальному складовому елементі, проілюстровані на Фіг. 3А-3F, являють собою тільки приклади можливих варіантів розташування, і дане розкриття винаходу не обмежене даними конкретними варіантами розташування.

Як зазначено вище, може бути переважним утворення гладкої торцевої поверхні для сприяння передачі світла в оптичне волокно і з оптичного волокна, наприклад, за допомогою полірування торцевої поверхні. Було виявлено, що багато оптичних волокон, які промислово виготовляються і є на ринку, включають в себе два або більше полімерних шарів, які оточують пропускаючу серцевину і оболонку, а саме внутрішній шар з відносно м'якого полімерного матеріалу і зовнішній шар з більш твердого полімерного матеріалу для захисту скляної серцевини. Призначення шару з більш м'якого полімеру полягає в зменшенні втрат світла, які викликаються мікрОВИГНАМИ оптичного волокна у певних випадках застосування. Однак було виявлено, що при піддаванні торцевої поверхні посилювального складового елемента, що включає в себе кінець оптичного волокна, поліруванню шар з більш м'якого полімеру може зміщуватися і, щонайменше частково, перекривати пропускаючу скляну серцевину оптичного волокна внаслідок механічного впливу, що створюється в процесі полірування, і/або тепла, що виділяється в процесі полірування. Навіть невеликий ступінь перекриття зміщеним полімером може перешкодити передачі світла в оптичне волокно і/або з нього. Таким чином, відповідно до однієї характеристики оптичні волокна не включають в себе шар з більш м'якого полімеру. Наприклад, оптичне волокно може включати в себе пропускаючу скляну серцевину і оболонку для пропускання світла і один захисний (наприклад, твердий) полімерний шар, що оточує скляну серцевину й оболонку, наприклад, за відсутності проміжного шару матеріалу. У результаті буде ослаблена або усунена тенденція до перекриття кінця скляної серцевини зміщеним полімером, і буде поліпшена передача світла в оптичне волокно і з нього. Відповідно до однієї характеристики єдиний захисний полімерний шар буде мати модуль пружності при розтягненні, що становить, щонайменше, приблизно 1000 МПа, наприклад, до приблизно 4500 МПа. Приклади таких полімерів можуть включати полімери на основі акрилатів і полііміди. Відповідно до іншої характеристики оптичне волокно може бути вільним від яких-небудь полімерних (наприклад, захисних) шарів.

Посилювальні складові елементи, описані вище, можуть бути виготовлені за допомогою

засобів, відомих фахівцям в даній галузі техніки, включаючи способи, описані у вище перелічених патентах США. У одному конкретному варіанті здійснення посилювальний складовий елемент утворений за допомогою процесу пултрузії, за допомогою якого джгути безперервних армувальних волокон (наприклад, вуглецевих волокон і скловолокон) витягують через матеріал зв'язувальної матриці (наприклад, через ванну з епоксидною смолою), який згодом піддають отвердженню для закріплення волокон і утворення композиційного матеріалу, армованого волокнами. Оптичні волокна постачаються виробником у вигляді безперервних відрізків (наприклад, з довжиною, що становить багато тисяч метрів) на котушках аналогічно джгутам волокон (наприклад, джгутам вуглецевих волокон і джгутам скловолокон). Отже, оптичні волокна можуть бути включені в процес пултрузії разом з армувальними волокнами без великих ускладнень.

Таким чином, один варіант здійснення даного розкриття винаходу направлений на спосіб виготовлення подовженого посилювального складового елемента, який складається з композиційного матеріалу, армованого волокнами, і який виконаний з можливістю використання в посилювальному елементі. Спосіб може включати етапи утворення подовженого композиційного матеріалу, армованого волокнами, що має подовжню центральну вісь і що містить зв'язувальну матрицю і множину армувальних волокон, розміщених в зв'язувальній матриці. Щонайменше, перше оптичне волокно закладають в композиційний матеріал, армований волокнами, наприклад, під час утворення композиційного матеріалу, так, щоб оптичне волокно проходило від першого кінця композиційного матеріалу до другого кінця композиційного матеріалу. Наприклад, оптичні волокна можуть бути введені в процес пултрузії, в якому джгути армувальних волокон просочують смолою, яка при отвердженні утворює зв'язувальну матрицю. Оптичні волокна, як правило, постачаються на котушках (бобинах) аналогічно джгутам армувальних волокон і, отже, можуть бути піддані витягненню в системі для пултрузії аналогічно. У одному варіанті здійснення оптичні волокна постачаються з одним або більше полімерними шарами, і полімерні шари видаляють перед з'єднанням оптичних волокон з армувальними волокнами і їх просоченням смолою. Наприклад, оптичні волокна можуть бути піддані етапу термообробки для видалення (наприклад, для випаровування) полімерного шару. У одному варіанті здійснення етап термообробки включає спрямування лазера на оптичне волокно безпосередньо перед змішуванням оптичного волокна з армувальними волокнами.

Як зазначено вище, оптичні волокна можуть бути орієнтовані прямолінійно (наприклад, можуть бути колінеарними відносно центральної подовжньої осі посилювального складового елемента) або можуть бути намотані (наприклад, намотані по спіралі) відносно центральної подовжньої осі посилювального складового елемента.

Після утворення армованого волокнами композиційного матеріалу з відповідною довжиною (наприклад, за допомогою пултрузії) композиційний матеріал розрізають поблизу першого кінця композиційного матеріалу для утворення першої, отриманої розрізанням, торцевої поверхні, яка є по суті плоскою. Кінець, отриманий розрізанням, полірують для утворення подовженого посилювального складового елемента, що складається з композиційного матеріалу, армованого волокнами, і що має поліровану першу торцеву поверхню, при цьому полірована перша торцева поверхня містить композиційний матеріал, армований волокнами, і перший кінець оптичного волокна. Внаслідок виконання вищенаведеного способу полірований кінець посилювального складового елемента, що включає в себе оптичне волокно, буде мати здатність до ефективного прийому і пропускання світла через оптичне волокно, і при цьому, наприклад, не потрібно, щоб оптичне волокно було фізично ізольоване від навколишнього композиційного матеріалу, армованого волокнами.

Як розглянуто вище, посилювальний складовий елемент може включати в себе одне або множину (наприклад, чотири або більше) оптичних волокон, і множина оптичних волокон можуть бути передбачена (наприклад, закладена) в композиційному матеріалі, армованому волокнами, для збільшення імовірності того, що оптичні волокна виявляться розірваними внаслідок тріщини або іншого дефекту в оточуючому композиційному матеріалі. Таким чином, вищенаведений спосіб може включати закладання множини оптичних волокон, наприклад, двох або більше оптичних волокон, як описано вище.

У процесі пултрузії після отвердження зв'язувальної матриці в достатній мірі, підданий пултрузії композиційний матеріал, армований волокнами, як правило, намотують на котушку. Оскільки довжина джгутів волокон і оптичних волокон значно перевищує довжину композиційного матеріалу, який може зберігатися на котушці, подовжений композиційний матеріал в кінці розрізають до того, як буде перевищена місткість котушки. Як правило, такий розріз виконують за допомогою простого розрізання (наприклад, за допомогою використання болторізів) або зубчатої пилки (із зазублинами), що приводить до шорсткуватого і

розщепленого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами. Згідно з одним варіантом здійснення може бути бажаним визначення стану посилювального складового елемента, коли посилювальний складовий елемент розміщений на котушці. Відповідно, композиційний матеріал, армований волокнами, може бути намотаний на котушку так, що обидва кінці, тобто перший і другий кінці композиційного матеріалу будуть відкриті для впливу, наприклад, обидва кінці будуть відділені від основної частини намотаного на котушку композиційного матеріалу часто за допомогою пропускання одного або обох кінців через бічний отвір у котушці. Таким чином, в одному варіанті здійснення, щонайменше, один кінець і переважно обидва кінці композиційного матеріалу, армованого волокнами, обрізають і полірують для утворення посилювального складового елемента (наприклад, подібного описаному вище), так що система і спосіб визначення стану можуть бути застосовані для посилювального складового елемента в той час, коли посилювальний складовий елемент розміщений на котушці.

У одному варіанті здійснення виробник посилювального складового елемента може захотіти піддати посилювальний складовий елемент випробуванню під навантаженням («стресу-тесту») перед відвантаженням посилювального складового елемента, наприклад, перед транспортуванням посилювального складового елемента до обладнання для скручування, призначеного для скручування посилювального елемента, утвореного з посилювального складового елемента, разом з провідником для утворення електричного кабелю. Такий стрес-тест може включати розмотування посилювального складового елемента з однієї котушки і його намотування на іншу котушку, при цьому посилювальний складовий елемент пропускають через одне або більше колеса (наприклад, малих шківів) між двома котушками. Належний вибір розміру коліс і місця розміщення коліс забезпечує прикладання відомого навантаження до посилювального складового елемента, щоб пересвідчитися в тому, що посилювальний складовий елемент не руйнується під дією даного відомого навантаження, наприклад, щоб підтвердити те, що відсутні які-небудь істотні виробничі дефекти в посилювальному складовому елементі. Таким чином, згідно з одним варіантом здійснення система і спосіб визначення стану посилювального складового елемента застосовуються для посилювального складового елемента після стрес-тесту для визначення того, чи пройшов посилювальний складовий елемент стрес-тест, наприклад, для визначення того, чи утворилися тріщини в посилювальному складовому елементі під час стрес-тесту. Наприклад, система і спосіб можуть бути застосовані після стрес-тесту, коли посилювальний складовий елемент намотаний на другу котушку. Якщо за допомогою використання системи і способу визначення стану буде визначено, що посилювальний складовий елемент пройшов стрес-тест, намотаний на котушку посилювальний складовий елемент може бути відвантажений для скручування.

У будь-якому випадку в одному варіанті здійснення етап розрізання може виконуватися таким способом, який забезпечує високу імовірність утворення ортогональної торцевої поверхні, як розглянуто вище. Наприклад, етап розрізання може включати розрізання композиційного матеріалу, армованого волокнами, за допомогою механічно різальної кромки, що приводиться в дію (наприклад, що приводиться в рух). Абразивна різальна кромка, а саме різальна кромка, яка прорізає матеріал головним чином завдяки наявності абразивного зерна (тобто матеріалу у вигляді частинок з високою твердістю) на різальній кромці, як правило, є переважною відносно різальної кромки, яка включає в себе різальні зубці. Незважаючи на те, що використання дрібних різальних зубців не виключене для розрізання композиційного матеріалу, армованого волокнами, вважають, що різальні зубці будуть залишати більш шорсткувату поверхню порівняно з абразивним зерном, що приводить до більш важкого (тобто, більш трудомісткого) етапу полірування після етапу розрізання. Відповідно до однієї характеристики абразивна різальна кромка містить абразивне зерно, що має розмір, який є надмалим або більш великим, наприклад, розмір, що становить, щонайменше, приблизно 30 мкм (номер зернистості, що становить приблизно 600), наприклад, щонайменше, приблизно 40 мкм (номер зернистості, що становить приблизно 360) або навіть, щонайменше, приблизно 68 мкм (номер зернистості, що становить приблизно 220). Потрібно розуміти, що вибір зерна для розрізання може бути зроблений з урахуванням швидкості (наприклад, швидкості обертання) різальної кромки і прагнення до швидкого розрізання і полірування, тобто більш велике зерно може різати швидше, але може потребувати більш тривалого часу подальшого полірування.

Для утворення по суті ортогональної торцевої поверхні, описаної вище відповідно до певних характеристик, етап розрізання може включати закріплення (наприклад, механічне закріплення) першого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами, так, щоб перший кінець був розміщений по суті ортогонально відносно різальної кромки (наприклад, відносно різального ножа) під час етапу розрізання. Наприклад, композиційний матеріал, армований волокнами,

може бути механічно затиснутий так, що композиційний матеріал буде розміщений ортогонально до різальної кромки і не зможе переміщуватися зі зміщенням від осі яким-небудь помітним чином під час етапу розрізання.

Після розрізання торцевої поверхні може бути відполірована для отримання гладкої торцевої поверхні. Наприклад, етап полірування може включати полірування отриманої розрізанням торцевої поверхні полірувальною поверхнею. Наприклад, полірувальна поверхня може включати абразивне зерно, що має надмалий розмір, наприклад, розмір зерна, що не перевищує приблизно 25 мкм (номер зернистості, що становить 800) або навіть не перевищує приблизно 22 мкм (номер зернистості, що становить 1000). Якщо охарактеризувати це по-іншому, етап полірування може виконуватися за допомогою абразивного зерна, яке дрібніше абразивного зерна, що використовується на етапі розрізання.

Як зазначено вище, деякі оптичні волокна постачаються від виробника з шаром м'якого полімеру для зниження втрат від мікровигинів, і такий м'який полімер може перекривати кінець пропускаючої серцевини оптичного волокна під час етапів розрізання і/або полірування. Якщо оптичне волокно включає в себе такий шар, один спосіб зменшення або усунення такого перекриття полягає у тимчасовому отвердженні шару з м'якого полімеру для зменшення його схильності до зміщення і перекриття пропускаючої серцевини оптичного волокна. Наприклад, торцева поверхня може бути охолоджена перед етапом розрізання і полірування і/або під час етапу розрізання і полірування для забезпечення затвердження шару полімеру. Відповідно до однієї характеристики торцеву поверхню охолоджують за допомогою підведення охолодженої рідини або охолодженого газу до торцевої поверхні. Приклади включають підведення стислого газу (наприклад, стислого газоподібного азоту, газоподібного діоксиду вуглецю, вуглеводневого газу, фреону або тому подібного) до торцевої поверхні перед етапами розрізання і полірування і/або під час етапів розрізання і полірування.

Спосіб утворення торцевої поверхні посилювального складового елемента описаний вище як такий, що включає механічне розрізання і полірування кінця/торця композиційного матеріалу, армованого волокнами, наприклад, за допомогою використання різальної кромки і полірувальної поверхні. Однак передбачено, що посилювальний складовий елемент, що має задану торцеву поверхню, може бути утворений за допомогою інших засобів. Наприклад, струмінь води або лазер можуть бути використані для отримання торцевої поверхні, що має властивості, бажані для ефективного пропускання світла в системах і способах визначення стану, розкритих в даному документі.

Вище описане виготовлення посилювального складового елемента, що має торцеву (-і) поверхню (поверхні), яка (-і) конфігурована (-і) (наприклад, отримана (-і) розрізанням і відполірована (-і)) для сприяння передачі світла в оптичне волокно і з оптичного волокна, закладеного в посилювальний складовий елемент. Це дозволяє виробнику посилювального складового елемента визначати стан посилювального складового елемента перед його відправкою кінцевому користувачеві або його транспортуванням на проміжну стадію, таку як стадія, що виконується на обладнанні, яке виконує скручування посилювального складового елемента разом з провідником для утворення електричного кабелю. Система і спосіб також можуть бути реалізовані в інших місцях крім або замість їх реалізації у виробника. Така реалізація може потребувати, щоб кінцевий користувач і/або підприємство, що здійснює проміжну стадію, також підготували кінці посилювального складового елемента відповідно до вищенаведеного опису. Наприклад, як зазначено вище, коли посилювальний елемент (наприклад, що включає в себе один або більше посилювальних складових елементів) скручують разом з провідником для утворення електричного кабелю, посилювальний елемент витягують з котушки і скручують разом зі струмопровідними жилами. Оскільки струмопровідні жили додають об'єм до об'єму посилювального елемента, довжина електричного кабелю, який може зберігатися на котушці, зменшена порівняно з місткістю котушки, відповідно тільки посилювальному елементу. Таким чином, посилювальний елемент повинен бути розрізаний в деякий момент, наприклад, коли котушка для електричного кабелю «досягає» її місткості. У результаті той, хто здійснює скручування, може захотіти підготувати кінці посилювального складового елемента відповідно до вищенаведених способів, щоб дати можливість тому, хто здійснює скручування, або його клієнту/замовнику визначити стан електричного кабелю після намотування електричного кабелю на котушку.

Аналогічно, як розкрито вище, при монтажі посилювального елемента (наприклад, при підвишуванні повітряного електричного кабелю, що включає в себе посилювальний елемент, на баштових опорах), електричний кабель повинен бути розрізаний багато разів для адаптації до відстаней між баштовими опорами, зокрема, з урахуванням поворотів (наприклад, кутів) на трасі лінії електропередачі. Таким чином, в деяких варіантах здійснення посилювальний (-і)

складовий (-і) елемент (-и) може (можуть) бути розрізаний (-і) і відполірований (-і) відповідно до вищенаведених способів під час монтажу електричного кабелю на баштових опорах.

У одному варіанті здійснення даного розкриття винаходу розкритий інструмент, який особливо доцільний для розрізання і полірування посилювального складового елемента. Інструмент виконаний з можливістю обрізання і полірування кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами, на одному етапі, за допомогою чого зменшуються об'єм зусиль і можливість виникнення похибок при розрізанні і поліруванні для підготовки посилювального складового елемента до визначення стану. Інструмент включає в себе плоский корпус, при цьому плоский корпус має різальну кромку, що проходить вздовж, щонайменше, одного краю плоского корпусу, і полірувальну поверхню, що покриває, щонайменше, частину плоского корпусу. Встановлювальний елемент функціонально з'єднаний з плоским корпусом і виконаний з можливістю функціонального виставлення подовженого армованого волокнами композиційного матеріалу, що має подовжню вісь, відносно плоского корпусу, так що різальна кромка плоского корпусу виконана з можливістю переміщення і розрізання композиційного матеріалу по суті ортогонально до подовжньої осі для утворення поверхні, що отримується розрізанням, і полірувальна поверхня виконана з можливістю полірування поверхні, отриманої розрізанням, коли різальна кромка переміщується крізь композиційний матеріал.

Плоский корпус, який виконує розрізання і полірування, може приймати дуже різні форми, наприклад, мати вигляд багатокутної поверхні, що безперервно переміщується, яку можна виявити в стрічковій шліфувальній машині. Відповідно до однієї характеристики плоский корпус є по суті круглим і приводиться в обертання (наприклад, за допомогою електродвигуна) для розрізання композиційного матеріалу, армованого волокнами. При цьому двигун може бути функціонально з'єднаний з плоским корпусом, при цьому двигун виконаний з можливістю забезпечення швидкого обертання плоского корпусу навколо центральної осі плоского корпусу. Незважаючи на те, що різальна кромка може включати в себе множину різальних зубців, переважно, щоб різальна кромка була утворена з абразивною поверхнею, як описано вище, для мінімізації утворення шорсткуватого і/або розщепленого кінця композиційного матеріалу. Відповідно до однієї характеристики абразивна різальна кромка містить абразивне зерно, що має розмір, який є надмалим або більш великим, наприклад, розмір, що становить, щонайменше, приблизно 30 мкм (номер зернистості, що становить приблизно 600), наприклад, щонайменше, приблизно 40 мкм (номер зернистості, що становить приблизно 360) або навіть, щонайменше, приблизно 68 мкм (номер зернистості, що становить приблизно 220). Потрібно розуміти, що вибір абразивного зерна для розрізання може бути зроблений з урахуванням швидкості (наприклад, швидкості обертання) різальної кромки і прагнення до швидкого розрізання і полірування, тобто більш велике зерно може різати швидше, але може потребувати більш тривалого часу подальшого полірування.

Плоский корпус включає в себе полірувальну поверхню, яка покриває всю поверхню плоского корпусу або тільки її частину. Полірувальна поверхня може включати в себе абразивне зерно, що має надмалий розмір, наприклад, розмір зерна, що не перевищує приблизно 25 мкм (номер зернистості, що становить 800) або навіть не перевищує приблизно 22 мкм (номер зернистості, що становить 1000). Якщо охарактеризувати це по-іншому, полірувальна поверхня може містити абразивне зерно, яке дрібніше абразивного зерна, що використовується на різальній кромці. Відповідно до однієї характеристики полірувальна поверхня включає в себе абразивні зерна з, щонайменше, двома різними розмірами, при цьому більш велике зерно застосовується ближче до зовнішньої частини полірувальної поверхні і більш дрібне зерно застосовується ближче до центральної частини полірувальної поверхні. Таким чином, поверхня, отримана розрізанням, може спочатку піддаватися впливу більш великого полірувального зерна для швидкого видалення поверхневих елементів більшого розміру і потім піддаватися впливу більш дрібного полірувального зерна для видалення поверхневих елементів меншого розміру.

Для сприяння прикладанню тиску невеликої величини до торцевої поверхні композиційного матеріалу, армованого волокнами, за допомогою полірувальної поверхні полірувальна поверхня може бути трохи піднята над нижче розташованою поверхнею плоского корпусу. Наприклад, полірувальна поверхня може бути піднята над поверхнею плоского корпусу, щонайменше, на приблизно 0,1 мм, наприклад, щонайменше, на приблизно 0,3 мм і не більше, ніж на приблизно 1,2 мм, наприклад, не більше, ніж на приблизно 1,0 мм. Наприклад, полірувальна поверхня може містити абразивне зерно, яке розміщене на тонкій основі (наприклад, паперовій основі), яка прикріплена (наприклад, приклеєна) до в іншому гладкої плоскої поверхні. Як альтернатива або доповнення відносно піднятої полірувальної поверхні, інструмент може включати в себе механізм (наприклад, пружину), який виконаний з можливістю

підтискання полірувальної поверхні до кінця, що полірується, композиційного матеріалу, армованого волокнами.

Інструмент переважно може являти собою ручний інструмент, наприклад, інструмент, який може тримати і яким може маніпулювати оператор в дуже різних середовищах. Наприклад, під час монтажу повітряного електричного кабелю необхідно розрізати електричний кабель, коли оператор знаходиться високо над землею, часто в люльці, виконаній з можливістю переміщення у вертикальному напрямку. Виконання інструмента, який може легко утримуватися в такому малому просторі і яким може маніпулювати оператор, забезпечує значну перевагу. При цьому інструмент може включати в себе батарею для подачі живлення для переміщення плоского корпусу, наприклад, переміщення різальної кромки і полірувальної поверхні. Батарея може являти собою, наприклад, перезаряджувану батарею. Наприклад, для забезпечення більшої портативності і полегшення використання інструмента може використовуватися батарея, що має місткість в діапазоні від приблизно 2 Ампер-годин до приблизно 12 Ампер-годин. Відповідно до іншої характеристики батарея може мати напругу від приблизно 12 Вольт до приблизно 20 Вольт. Батареї, що мають дані характеристики, можуть забезпечувати належне живлення для надійної роботи інструмента протягом розумного часу, при цьому зберігається форма інструмента, при якій він легко утримується оператором і оператор легко маніпулює ним.

Інструмент може також включати в себе частину (наприклад, ручку), що захоплюється, для полегшення захоплення оператором і вільного маніпулювання інструментом, наприклад, подібно ручному свердлу.

Певні композиційні матеріали, армовані волокнами, можуть включати в себе матеріали (наприклад, вуглецеві волокна), які можуть становити небезпеку для оператора, коли різальна кромка і полірувальна поверхня здійснюють зняття матеріалу з поверхні у вигляді пилу. Відповідно до однієї характеристики інструмент включає в себе механізм, який виконаний з можливістю уловлювання пилу, який утворюється під час розрізання і полірування. Наприклад, даний механізм може бути з'єднаний з плоским корпусом так, що створюється частковий вакуум для уловлювання пилу при переміщенні плоского корпусу, наприклад, при обертанні плоского корпусу.

Потрібно розуміти, що інструмент для розрізання і полірування, описаний в даному документі, може мати дуже різні застосування і не обмежений розрізанням і поліруванням композиційних матеріалів, армованих волокнами, для утворення посилювальних складових елементів, описаних вище.

Вищеописані посилювальні складові елементи, що мають одне або більше оптичних волокон, розміщених в ньому, можуть використовуватися в багатьох різних застосуваннях, зокрема, як посилювальні елементи, які працюють на розтягнення, в різних конструкціях. У одному варіанті здійснення даного розкриття винаходу посилювальні складові елементи використовуються в посилювальних елементах для повітряних електричних кабелів.

У одному варіанті здійснення розкритий спосіб визначення стану посилювального елемента з композиційного матеріалу, армованого волокнами, наприклад, посилювального елемента, виконаного з можливістю використання в повітряному електричному кабелі. Посилювальний елемент включає в себе посилювальний складовий елемент, утворений з композиційного матеріалу, армованого волокнами, при цьому композиційний матеріал включає в себе зв'язувальну матрицю і множину армувальних волокон, функціонально розміщених у зв'язувальній матриці. Як описано вище, щонайменше, перше оптичне волокно закладене в композиційному матеріалі і проходить вздовж довжини композиційного матеріалу, армованого волокнами. Спосіб визначення стану включає етапи функціонального приєднання світлопередавального пристрою до першого кінця посилювального елемента, функціонального приєднання пристрою виявлення світла до другого кінця посилювального елемента, передачу світла від світлопередавального пристрою за допомогою першого оптичного волокна і у напрямку до пристрою виявлення світла і виявлення світла, що передається/пропускається за допомогою пристрою виявлення світла. Відповідно до однієї характеристики у випадку, якщо не буде виявлене світло, що передається, що виходить з одного або більше з оптичних волокон, може бути виконана додаткова оцінка конструктивної цілісності посилювального елемента, оскільки відсутність світла, що передається, що виходить з одного або більше оптичних волокон, може вказувати на те, що конструктивна цілісність посилювального елемента була порушена.

Світло, що передається, може охоплювати світло в широкій оптичній ділянці. Наприклад, видиме світло (наприклад, що має довжину хвилі від приблизно 400 нм до приблизно 700 нм) може бути придатним для більш коротких довжин посилювального складового елемента з

композиційного матеріалу або у випадку, якщо світлова віддача джерела світла є дуже високою. Однак видиме світло може дуже послаблюватися в більшості застосувань, зокрема, на великих довжинах.

Довжина хвилі світла, що передається, переважно може знаходитися в основному в інфрачервоній ділянці. Наприклад, довжина хвилі світла (наприклад, максимальна довжина хвилі), що передається, може становити, щонайменше, приблизно 700 нм, наприклад, щонайменше, приблизно 800 нм. Крім того, довжина хвилі світла, що передається, може не перевищувати приблизно 1200 нм, наприклад, не перевищувати приблизно 1000 нм. Вважають, що світло, що має довжину хвилі, що перевищує приблизно 1200 нм, буде важко виявити на другому кінці посилювального складового елемента за допомогою використання звичайних датчиків світла, таких як датчик світла на основі приладу із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) або на структурі КМОН. Особлива перевага полягає в тому, що джерело світла може являти собою джерело некогерентного світла, наприклад, порівняно з джерелом когерентного (наприклад, однофазного) світла, таким як лазер. Використання лазерів може бути проблематичним, оскільки лазери потребують сильної взаємодії з окремим оптичним волокном внаслідок малого діаметра променю когерентного світла. Навпаки, у способі, розкритому в даному документі, може переважно використовуватися джерело некогерентного світла, таке як світлодіод (LED), галогенна лампа або тому подібне.

Відповідно до однієї характеристики джерело світла являє собою світлодіод, і етап передачі світла включає подачу живлення до світлодіоду, наприклад, за допомогою використання батареї або іншого джерела живлення. Світлодіоди є досить недорогими і механічно стійкими/міцними. Оскільки посилювальний складовий елемент може включати в себе декілька оптичних волокон, розміщених в різних місцях в поперечному перерізі посилювального складового елемента, бажано передавати світло у напрямку до по суті всього поперечного перерізу посилювального складового елемента так, щоб достатнє світло передавалося у всі оптичні волокна для виявлення на протилежному кінці посилювального складового елемента. Відповідно до однієї характеристики це забезпечується за допомогою переміщення джерела світла (наприклад, світлодіода) під час передачі світла. Наприклад, джерело світла може бути приведенне у обертання (наприклад, приведенне у обертання механічно за допомогою використання двигуна) або приведенне в рух іншим способом (наприклад, може переміщуватися назад і вперед або коливатися) при передачі світла. Відповідно до однієї конкретної характеристики джерело світла приводять у обертання з частотою обертання, що становить, щонайменше, приблизно 5 об./хв (обертів на хвилину), наприклад, щонайменше, приблизно 10 об./хв, при передачі світла у напрямку до кінця посилювального складового елемента.

У одному варіанті здійснення посилювальний складовий елемент може мати характеристики, по суті такі, як описані вище, і може бути виготовлений так, як описано вище. Наприклад, торцева поверхня посилювального складового елемента може включати в себе композиційний матеріал, армований волокнами, і оптичне (-і) волокно (волокна), при цьому оптичне (-і) волокно (-а) не виступає (-ють) за торцеву поверхню. Торцева поверхня може бути полірованою.

У альтернативному варіанті або на доповнення до вищевикладеного матеріал для компенсації втрат відбиття в оптичному волокні (наприклад, плинне середовище, така як гель) може бути розміщений на торцевій поверхні (наприклад, на кінці оптичних волокон) для поліпшення передачі світла в оптичні волокна і/або з них. Матеріал для компенсації втрат відбиття в оптичному волокні являє собою плинний матеріал, який має показник заломлення, який такий же, як показник заломлення іншого матеріалу, наприклад, матеріалу пропускаячої серцевини оптичного волокна, або дуже схожий на показник заломлення іншого матеріалу при довжині хвилі, що становить інтерес, оскільки зменшення довжини хвилі приводить до більш високого показника заломлення. У одному варіанті здійснення спосіб включає розміщення невеликої кількості гелю для компенсації втрат відбиття в оптичному волокні на торцевій поверхні посилювального складового елемента перед передачею/пропусканням світла, при цьому гель для компенсації втрат відбиття в оптичному волокні має показник заломлення, який по суті такий же, як показник заломлення серцевини оптичного волокна. У одному варіанті здійснення матеріал для компенсації втрат відбиття в оптичному волокні має показник заломлення, який становить, щонайменше, приблизно 1,40, наприклад, щонайменше, приблизно 1,42 або навіть, щонайменше, приблизно 1,44. Показник заломлення матеріалу для компенсації втрат відбиття в оптичному волокні може не перевищувати приблизно 1,50, наприклад, не перевищувати приблизно 1,48. Було виявлено, що навіть мала кількість гелю для компенсації втрат відбиття в оптичному волокні, розміщеного на торцевій поверхні, може забезпечити значне поліпшення передачі/пропускання світла в оптичні волокна.

Спосіб визначення стану може бути реалізований після виготовлення посилювального складового елемента, наприклад, коли посилювальний складовий елемент розміщений на котушці. Він також може бути реалізований після стрес-тесту (наприклад, після випробування на вигин), як описано вище. Він може бути реалізований після виготовлення кінцевого виробу (наприклад, після скручування посилювального (-их) складового (-их) елемента (елементів) разом з провідником) і може бути реалізований після монтажу, наприклад, монтажу повітряного електричного кабелю, для гарантування конструктивної цілісності електричного кабелю.

У ще одному варіанті здійснення розкрита система для визначення стану посилювального складового елемента. Дана система може бути використана для реалізації вищенаведеного способу визначення стану посилювального складового елемента, хоча застосування даної системи не обмежене цим. Наприклад, система може бути виконана з можливістю виявлення дефекту в посилювальному елементі, армованому волокнами, наприклад, в посилювальному елементі, який являє собою компонент повітряного електричного кабелю. У даному варіанті здійснення система включає в себе повітряний електричний кабель, при цьому повітряний електричний кабель містить посилювальний елемент з композиційного матеріалу, армованого волокнами. Посилювальний елемент включає в себе зв'язувальну матрицю, множину армувальних волокон, функціонально розміщених в зв'язувальній матриці для утворення частини з композиційного матеріалу, армованого волокнами, щонайменше, перше оптичне волокно, повністю розміщене в межах частини з композиційного матеріалу, армованого волокнами, і вздовж довжини посилювального елемента. Провідник розміщений навколо посилювального елемента і спирається на нього для утворення електричного кабелю. Світлопередавальний пристрій функціонально з'єднаний з першим кінцем посилювального елемента, при цьому світлопередавальний пристрій містить джерело світла, яке виконане з можливістю передачі світла в перший кінець оптичного волокна. Наприклад, світло може мати довжину хвилі, що становить, щонайменше, приблизно 300 нм і не перевищує приблизно 1700 нм. Пристрій виявлення світла функціонально з'єднаний з другим кінцем посилювального елемента і включає в себе датчик світла, виконаний з можливістю виявлення світлового випромінювання, що передається від світлопередавального пристрою і оптичного волокна, що проходить через другий кінець.

Як розглянуто вище, джерело світла може бути виконане з можливістю випускання світлового випромінювання, що має основну довжину хвилі в інфрачервоній ділянці, наприклад, що має довжину хвилі, що становить, щонайменше, приблизно 700 нм, наприклад, щонайменше, приблизно 800 нм. Крім того, джерело світла може бути виконане з можливістю випускання світлового випромінювання, що має довжину хвилі, що не перевищує приблизно 1200 нм, наприклад, що не перевищує приблизно 1000 нм. Джерело світла може представляти будь-яке придатне джерело некогерентного світла, включаючи, серед іншого, галогенну лампу або світлодіод. Джерело світла переважно може включати в себе множину світлодіодів (наприклад, світлодіодних панелей), які змонтовані для збільшення площі (наприклад, площі, поперечного перерізу), на якій передається світло. Джерело світла може бути також функціонально з'єднане з механізмом, таким як двигун, який виконаний з можливістю забезпечення переміщення (наприклад, обертання або коливання) джерела світла, коли джерело світла передає світло. Таким чином, по суті однорідний стовп або промінь світла передається до торцевої поверхні посилювального складового елемента, що істотно збільшує імовірність того, що кожне оптичне волокно в посилювальному складовому елементі отримає кількість світла, достатню для виявлення на другому кінці посилювального складового елемента.

Джерело світла може забезпечуватися енергією за допомогою будь-якого звичайного засобу. У одному варіанті здійснення джерело світла забезпечується енергією за допомогою батареї, наприклад, перезаряджуваної батареї. Наприклад, для забезпечення більшої портативності і простоти використання джерела світла може використовуватися батарея, що має місткість в діапазоні від приблизно 2 Ампер-годин до приблизно 12 Ампер-годин. Відповідно до іншої характеристики батарея може мати напругу від приблизно 12 Вольт до приблизно 20 Вольт. Батареї, що мають дані характеристики, можуть забезпечувати належне живлення для джерела світла для надійного функціонування протягом розумного часу при одночасному збереженні джерела в такому вигляді, при якому воно легко утримується оператором і оператор легко маніпулює ним.

Джерело світла може бути також розташоване на відстані від кінця посилювального складового елемента під час використання. Незважаючи на те, що джерело світла розташоване на відстані, світло з джерела світла, проте, зможе пройти в оптичне (-і) волокно (-а) завдяки структурі кінця посилювального складового елемента, розглянутій вище. Відповідно до однієї

характеристики джерело світла (наприклад, передня поверхня джерела світла) розташоване на відстані від торцевої поверхні посилювального складового елемента під час використання, що становить, щонайменше, приблизно 0,1 мм, наприклад, щонайменше, приблизно 1,0 мм. Відповідно до іншої характеристики джерело світла розташоване на відстані від торцевої

5 поверхні, що не перевищує приблизно 150 мм, наприклад, що не перевищує приблизно 100 мм, наприклад, що не перевищує приблизно 30 мм.

Посилювальний елемент може включати в себе один або більше посилювальних складових елементів, описаних вище, включаючи посилювальні складові елементи, що мають множину оптичних волокон, розміщених в композиційному матеріалі, наприклад, щонайменше,

10 приблизно два, щонайменше, приблизно три або, щонайменше, приблизно 4 оптичні волокна. Посилювальний елемент може мати діапазон довжин, розглянутий вище, і спосіб визначення його стану може бути реалізований в різні моменти під час виготовлення і монтажу посилювального елемента.

Пристрій виявлення світла може включати в себе датчик світла, призначений для виявлення світла, що передається. Незважаючи на те, що в деяких обставинах користувач може безпосередньо досліджувати світло (наприклад, неозброєним оком), пристрій виявлення світла, що включає в себе датчик світла, може забезпечити можливість виявлення відносно

15 слабого світла і може забезпечити можливість реєстрації зображень і/або даних для дистанційного аналізу і/або для архівування. Датчик світла може являти собою, наприклад, прилад із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) або пристрій на КМОН-структурі. Пристрій виявлення світла може включати в себе, наприклад, увігнуту лінзу, яка розташована між кінцем посилювального елемента з композиційного матеріалу і датчиком світла, і виконана з

20 можливістю фокусування світла, що передається/пропускається на датчику світла. Датчик світла може бути також з'єднаний з обчислювальним пристроєм для аналізу і/або відбиття зображення, створеного датчиком. З'єднання може являти собою дротове з'єднання або може являти собою бездротове з'єднання, забезпеченню якого сприяє, наприклад, використання антени.

Необмежувальні приклади світлопередавального пристрою і пристрою виявлення світла, які можуть бути використані у вищенаведеній системі або аналогічній системі, описані нижче.

У одному варіанті здійснення розкритий пристрій для передачі світла в кінець оптичного волокна, який закладений в подовженому конструктивному елементі (наприклад, посилювальному складовому елементі, описаному в даному документі). Пристрій може включати в себе по суті жорсткий несучий корпус і канал, розташований так, що він проходить, щонайменше частково, через несучий корпус, і що має отвір на першому кінці каналу. Отвір і

35 канал виконані з можливістю (наприклад, виконані з формою і розмірами, що забезпечує можливість) прийому кінця подовженого конструктивного елемента, що має, щонайменше, перше оптичне волокно, закладене вздовж довжини конструктивного елемента. Пристрій включає в себе джерело світла, розташоване, щонайменше частково, в несучому корпусі і поблизу другого кінця каналу, і джерело світла виконане з можливістю передачі світла в канал і

40 у напрямку до кінця подовженого елемента, коли подовжений елемент розміщений в першому кінці каналу. Джерело живлення (наприклад, батарея) функціонально з'єднане (-а) з джерелом світла.

Відповідно до однієї характеристики джерело світла являє собою джерело некогерентного світла, наприклад, на відміну від джерела когерентного світла (наприклад, джерела

45 однофазного світла), такого як лазер. Джерело світла може являти собою, наприклад, галогенну лампу або світлодіод, і відповідно до однієї характеристики джерело світла включає в себе світлодіод (LED). Світлодіод може бути виконаний з можливістю випускання світлового випромінювання в діапазоні довжин хвиль, що становлять, щонайменше, приблизно 300 нм і що не перевищують приблизно 1200 нм, таких як довжина хвилі в діапазоні довжин, що

50 становлять, щонайменше, приблизно 700 нм і що не перевищують приблизно 1000 нм. Вважають, що виявлення хвилі з довжиною, що перевищує приблизно 1200 нм, може бути ускладнене при використанні звичайних засобів виявлення світла. Відповідно до однієї конкретної характеристики світлодіод виконаний з можливістю випускання світлового випромінювання в основному в інфрачервоній ділянці, наприклад, з основною довжиною хвилі,

55 що становить, щонайменше, приблизно 800 нм і не перевищує приблизно 900 нм.

Відповідно до іншої характеристики пристрій включає в себе двигун, який функціонально з'єднаний з джерелом світла і виконаний з можливістю забезпечення переміщення джерела світла, коли джерело світла передає світло в канал, наприклад, за допомогою забезпечення коливань джерела світла або забезпечення обертання джерела світла навколо центральної осі

60 джерела світла.

Відповідно до ще однієї характеристики пристрій включає в себе стопорний елемент, який виконаний з можливістю підтримання деякої відстані між джерелом світла і кінцем конструктивного елемента, коли конструктивний елемент вставлений в перший кінець каналу. Така конфігурація запобігає ситуації, при якій оператор із зусиллям вводить кінець посилювального складового елемента в безпосередній контакт з джерелом світла, і зменшує можливість пошкодження джерела світла. Стопорний елемент може бути виконаний з можливістю підтримання відстані між кінцем конструктивного елемента і джерелом світла, що становить, щонайменше, приблизно 0,1 мм, наприклад, щонайменше, приблизно 1,0 мм, і не перевищує приблизно 150 мм, наприклад, не перевищує приблизно 100 мм або навіть не перевищує приблизно 30 мм. Наприклад, стопорний елемент може містити упор (наприклад, виступ), розташований в каналі, при цьому виступ виконаний з можливістю запобігання переміщенню конструктивного елемента за виступ при вставленні даного елемента в канал. Стопорний елемент може також містити прозору (наприклад, скляну) пластину, яка розташована між кінцем посилювального складового елемента і джерелом світла, при цьому посилювальний складовий елемент може бути підтиснутий до скляної пластини. При цьому у разі необхідності може бути нанесений прозорий гель між скляною пластиною і посилювальним складовим елементом для сприяння пропусканню світла через пластину і в оптичне (-і) волокно (-а). Стопорний елемент також може бути включений в джерело світла, наприклад, коли світловипромінювальна поверхня розташована за прозорою пластиною.

Канал може мати один розмір (наприклад, постійний діаметр), або може бути передбачений канал з регульованим діаметром, наприклад, за допомогою виконання втулок, що вставляються для розміщення посилювальних складових елементів різних діаметрів.

Для забезпечення довговічності, але підтримування при цьому відносно малої ваги корпус пристрою може бути виготовлений з металу, такого як легкий метал. Відповідно до однієї ознаки корпус виготовлений з алюмінію.

У ще одному варіанті здійснення розкритий пристрій, який виконаний з можливістю виявлення світла, що виходить з кінця оптичного волокна, закладеного в подовжений конструктивний елемент. Пристрій включає в себе по суті жорсткий несучий корпус і канал, розташований так, що він проходить, щонайменше частково, через несучий корпус. Канал має отвір на першому кінці каналу, при цьому отвір і канал виконані з можливістю (наприклад, виконані з розмірами і формою, що забезпечують можливість) прийому кінця подовженого конструктивного елемента, що має, щонайменше, перше оптичне волокно, закладене вздовж довжини конструктивного елемента. Датчик світла розташований в несучому корпусі і поблизу другого кінця каналу, при цьому датчик світла виконаний з можливістю прийому і виявлення світла з оптичного волокна, коли подовжений елемент розміщений в першому кінці каналу. Джерело живлення може бути функціонально з'єднане з датчиком світла.

Відповідно до однієї характеристики датчик світла вибраний з датчика на основі приладу із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) і датчика на структурі КМОН. Відповідно до іншої характеристики елемент для блокування світла розташований на першому кінці каналу. Елемент для блокування світла виконаний з можливістю блокування потрапляння стороннього/розсіяного світла (наприклад, зовнішнього світла) в канал і його впливу на здатність датчика світла виявляти світло, що виходить з оптичних волокон. Наприклад, елемент для блокування світла може являти собою такий матеріал, як еластомерний матеріал, який виконаний з можливістю щільного підтискання до конструктивного елемента навколо нього, коли конструктивний елемент вставлений у канал.

Як і у випадку світлопередавального пристрою, пристрій виявлення світла може включати в себе стопорний елемент для підтримання деякої відстані між датчиком світла і кінцем конструктивного елемента, коли конструктивний елемент вставлений в перший кінець каналу. Стопорний елемент може включати в себе, наприклад, упор (виступ), розташований в каналі і виконаний з можливістю запобігання переміщенню конструктивного елемента за виступ. Стопорний елемент може бути виконаний з можливістю підтримання відстані між кінцем конструктивного елемента і датчиком світла, що становить, щонайменше, приблизно 5 мм, наприклад, щонайменше, 10 мм, і не перевищує приблизно 300 мм, наприклад, не перевищує приблизно 200 мм або навіть не перевищує приблизно 100 мм.

Відповідно до однієї характеристики пристрій також включає в себе лінзу, таку як увігнута лінза, яка виконана з можливістю фокусування світла, що виходить з оптичного волокна, на датчик світла. При цьому вищезгаданий стопорний елемент, призначений для підтримання деякої відстані між датчиком світла і кінцем конструктивного елемента, може підтримувати належну відстань між кінцем конструктивного елемента і лінзою для підвищення ефективності лінзи.

Як і у випадку світлопередавального пристрою, корпус пристрою виявлення світла може бути виготовлений з металу, включаючи легкий метал, такий як алюміній.

Нижче вказані фігури ілюструють різні варіанти здійснення відповідно до даного розкриття винаходу і призначені тільки для ілюстрації таких варіантів здійснення, а не для обмеження іншим чином обсягу даного розкриття винаходу.

На Фіг. 3A-3F проілюстровані поперечні перерізи посилювальних складових елементів згідно з варіантами здійснення даного розкриття винаходу. Конфігурація перерізів посилювальних складових елементів 326A-326F, армованих волокнами, аналогічна посилювальному складовому елементу, проілюстрованому на Фіг. 2B, і включає внутрішню серцевину з волокон з високою міцністю на розрив, оточених зовнішнім шаром з ізолюючого матеріалу, наприклад, внутрішню серцевину, що містить вуглецеві волокна, оточені зовнішнім шаром, що містить скловолокна. Як проілюстровано на Фіг. 3A, посилювальний складовий елемент 326A включає в себе чотири оптичні волокна 323a-d, які розміщені концентрично в посилювальному складовому елементі 426 навколо центральної осі і на відстані від неї. Як проілюстровано на Фіг. 3A, волокна 323a-d розміщені на межі 329A розділу або дуже близько до межі 329A розділу між внутрішньою серцевиною 328A і зовнішнім шаром 330A. Чотири оптичні волокна також розподілені рівномірно навколо центральної осі, наприклад, розташовані на кутових відстанях одне від одного, що становлять приблизно 90°. Як проілюстровано на Фіг. 3B, оптичні волокна 323e-g розміщені дуже близько до зовнішньої поверхні посилювального складового елемента 326B і розташовані на кутових відстанях одне від одного, що становлять приблизно 120°. Розміщення дуже близько до зовнішньої поверхні може бути переважним для раннього виявлення тріщин, які виникають (наприклад, починаються) на зовнішній поверхні. Однак оптичні волокна 323e-g не повинні бути розміщені так близько до зовнішньої поверхні, що вони будуть відкриті для впливу і піддаватися пошкодженням, наприклад, внаслідок безпосереднього контакту із зовнішнім провідним шаром. Фіг. 3C ілюструє варіант здійснення посилювального складового елемента 326C, в якому чотири оптичні волокна 323h-323k закладені у внутрішній серцевині 328C. Фіг. 3D ілюструє варіант здійснення посилювального складового елемента 326D, в якому п'ять оптичних волокон розміщені на межі 329D розділу між внутрішньою серцевиною 328D і зовнішнім шаром 330D. П'ять оптичних волокон розташовані на по суті однаковій відстані від центральної осі посилювального складового елемента і розташовані на по суті однаковій відстані одне від одного, наприклад, розташовані на кутових відстанях одне від одного, що становлять приблизно 72°. Фіг. 3D ілюструє, що посилювальний складовий елемент може включати в себе будь-яку кількість оптичних волокон, включаючи п'ять або більше оптичних волокон. Фіг. 3E ілюструє варіант здійснення посилювального складового елемента 326E, в якому оптичні волокна першої групи розміщені на першій відстані від центральної осі посилювального складового елемента і оптичні волокна другої групи розміщені на другій відстані від центральної осі, при цьому друга відстань відрізняється від першої відстані. Фіг. 3F ілюструє варіант здійснення посилювального складового елемента 326F, в якому оптичне волокно розміщене вздовж центральної осі посилювального складового елемента 326F і оточене оптичними волокнами, які розташовані на відстані від центральної осі. Потрібно розуміти, що варіанти розташування оптичних волокон в посилювальному складовому елементі, проілюстровані на Фіг. 3A-3F, являють собою тільки приклади можливих варіантів розташування, і дане розкриття винаходу не обмежене даними конкретними варіантами розташування.

Один варіант здійснення системи визначення стану згідно з даним розкриттям винаходу схематично проілюстрований на Фіг. 4. У широкому значенні система 440 включає в себе світлопередавальний пристрій 450, пристрій 460 виявлення світла і посилювальний складовий елемент 426, наприклад, як описано вище.

Як проілюстровано на Фіг. 4, посилювальний складовий елемент 426 включає в себе чотири оптичні волокна, що проходять в подовжньому напрямі, з яких два оптичні волокна 432a/432b видні на Фіг. 4. Оптичні волокна являють собою одномодові оптичні волокна і розміщені в посилювальному складовому елементі 426, наприклад, зі зміщенням від центральної осі 434, наприклад, як проілюстровано на Фіг. 3A.

На Фіг. 5 світлопередавальний пристрій 550 проілюстровано більш детально. Пристрій 550 включає в себе передавач 552 світла, призначений для передачі світла для визначення стану. Передавач 552 включає в себе джерело 566 світла, функціонально з'єднане з джерелом 568 живлення. Джерело 566 світла являє собою світлодіод (LED), що має основну довжину хвилі, що становить приблизно 850 нм. Джерело 568 живлення являє собою батарею для сприяння мобільності і зручності використання у виробничих умовах, наприклад, під час або безпосередньо після монтажу повітряного електричного кабелю. Світлодіодне джерело 566

світла виконане з можливістю обертання (наприклад, за допомогою непроілюстрованого двигуна) так, що достатня кількість світла від джерела 566 світла буде надходити в кожне з оптичних волокон. Компоненти світлопередавального пристрою 550 огорожені (наприклад, герметично ізольовані) в корпусі 558, виготовленому, наприклад, з металу, такого як алюміній, або з пластику, для захисту компонентів від пошкоджень під час використання у виробничих умовах. Корпус 558 включає в себе канал 560, що має отвір на першому кінці, який виконаний з можливістю вставки посилювального складового елемента в канал 560. Виступ 564 виконаний з розмірами, що забезпечують можливість запобігання пропусканню посилювального складового елемента в канал до місця, в якому посилювальний складовий елемент входить в контакт з джерелом 566 світла (див. Фіг. 4). Іншими словами, виступ 564 забезпечує підтримання заданої відстані між кінцем посилювального складового елемента і джерела 566 світла.

Як показано на Фіг. 4, система також включає в себе пристрій 460 виявлення світла, розташований на кінці повітряного електричного кабелю 420, протилежному світлопередавальному пристрою 450. Пристрій виявлення світла проілюстрований більш детально на Фіг. 6. Пристрій 660 включає в себе датчик 664 світла, призначений для виявлення світла, що виходить зі світлопередавального пристрою. Як і у випадку світлопередавального пристрою, компоненти пристрою 660 виявлення світла огорожені (герметично ізольовані) в корпусі 658, виготовленому, наприклад, з металу, такого як алюміній, або пластику, для захисту компонентів від пошкоджень під час використання у виробничих умовах. Корпус 658 включає в себе канал 670, що має отвір на першому кінці, який виконаний з можливістю вставки посилювального складового елемента в канал 670. Над отвором, що веде в канал 670, розташований світлозахисний екран 676, що виготовлений з еластомерного матеріалу і що має крізний отвір. При вставленні посилювального елемента в канал 670 світлозахисний екран 676 переміщується всередину і утворює світлозахисне ущільнення навколо периферії посилювального складового елемента для зменшення кількості зовнішнього/розсіяного світла, що може потрапити в канал 670 із зовнішнього середовища.

Виступ 674 виконаний з розмірами, що забезпечують можливість запобігання пропусканню посилювального складового елемента в канал 670 до місця, в якому посилювальний складовий елемент входить в контакт з датчиком 664 світла (див. Фіг. 4), оскільки виступ 674 забезпечує підтримання заданої відстані між кінцем посилювального складового елемента і датчиком 664 світла. Датчик світла являє собою датчик на основі приладу з ПЗЗ/на КМОН-структурі, наприклад, подібний тому, який можна виявити в цифровій камері. Як проілюстровано на Фіг. 6, пристрій 660 виявлення світла включає в себе увігнуту лінзу 662, яка спрямовує світло, прийняте від джерела світла, до датчика 664 світла. Однак така увігнута лінза може бути необов'язковою для належного виявлення світла.

Фіг. 7A і 7B ілюструють інструмент 700 для розрізання і полірування посилювального складового елемента або аналогічної деталі, що обробляється, відповідно до варіанта здійснення даного розкриття винаходу. Інструмент 700 включає в себе плоский і виконаний з можливістю обертання ніж 704, який включає в себе різальну кромку 708 і полірувальну поверхню 706. Полірувальна поверхня 706 трохи піднята (наприклад, на приблизно 1 мм) над поверхнею 714 ножа 704. Встановлювальний елемент 710 приєднаний до корпусу 702 інструмента і виконаний з можливістю переміщення (наприклад, повороту навколо осі 716) посилювального складового елемента 720 відносно різального ножа 704. Встановлювальний елемент 710 забезпечує виставлення посилювального складового елемента 720 відносно різального ножа 704 так, що різальна кромка 708 може розрізати посилювальний складовий елемент 720 по суті ортогонально до подовжньої осі посилювального складового елемента 720. Коли різальна кромка переміщується через посилювальний складовий елемент, полірувальна поверхня 706 полірує щойно отриману розрізанням поверхню посилювального складового елемента 720. Інструмент 700 виконаний з можливістю його захоплення користувачем, який може привести в дію різальний ніж 704, використовуючи кнопку 712 включення. Перезаряджувана батарея 712 забезпечує інструмент енергією.

Незважаючи на те, що різні варіанти здійснення системи, способу і інструментів для визначення стану посилювального елемента були описані детально, очевидно, що модифікації і адаптація даних варіантів здійснення стануть зрозумілими фахівцям у даній галузі техніки. Проте, потрібно однозначно розуміти, що такі модифікації і адаптація знаходяться в межах суті і обсягу даного розкриття винаходу.

ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

1. Система, виконана з можливістю виявлення дефекту в посилювальному елементі з армованого волокнами композиційного матеріалу, що призначений для використання у повітряному електричному кабелі, яка містить:
 посилювальний елемент з армованого волокнами композиційного матеріалу, що має довжину
 5 щонайменше 100 метрів, при цьому посилювальний елемент містить щонайменше перший посилювальний складовий елемент, при цьому перший посилювальний складовий елемент містить:
 зв'язувальну матрицю;
 множину армувальних волокон, функціонально розміщених у зв'язувальній матриці для
 10 утворення композиційного матеріалу, армованого волокнами;
 щонайменше перше оптичне волокно, що закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і що проходить від першого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами, до другого кінця композиційного матеріалу, армованого волокнами, причому перше оптичне
 15 волокно має перший та другий кінці, і перше оптичне волокно не виходить за межі торцевих поверхонь першого посилювального елемента; і
 світлопередавальний пристрій, функціонально з'єднаний з першим кінцем посилювального елемента, при цьому світлопередавальний пристрій містить джерело світла, яке функціонально з'єднане з джерелом живлення і виконане з можливістю передачі світла, що має основну
 20 довжину хвилі, що становить щонайменше 300 нм і не перевищує 1700 нм, в перший кінець першого оптичного волокна; і
 пристрій виявлення світла, функціонально з'єднаний з другим кінцем посилювального елемента, при цьому пристрій виявлення світла містить світловий детектор, який виконаний з
 25 можливістю виявлення світла, що випускається джерелом світла, через другий кінець першого оптичного волокна.
2. Система за п. 1, в якій джерело світла виконане з можливістю випускання світлового випромінювання, що має основну довжину хвилі в інфрачервоній ділянці.
3. Система за будь-яким із пп. 1-2, в якій джерело світла виконане з можливістю випускання світлового випромінювання, яке має основну довжину хвилі, що становить щонайменше 800 нм.
4. Система за будь-яким із пп. 1-3, в якій джерело світла виконане з можливістю випускання
 30 світлового випромінювання, яке має основну довжину хвилі, що не перевищує 1000 нм.
5. Система за будь-яким із пп. 1-4, в якій посилювальний складовий елемент включає в себе щонайменше друге оптичне волокно, що закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і що проходить вздовж довжини композиційного матеріалу, армованого волокнами.
6. Система за п. 5, в якій посилювальний складовий елемент включає в себе щонайменше
 35 третє оптичне волокно, що закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і що проходить вздовж довжини композиційного матеріалу, армованого волокнами.
7. Система за п. 6, в якій посилювальний складовий елемент включає в себе щонайменше четверте оптичне волокно, що закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і що проходить вздовж довжини композиційного матеріалу, армованого волокнами.
- 40 8. Система за будь-яким із пп. 1-7, в якій електричний провідник розташований навколо посилювального елемента і спирається на нього для утворення електричного кабелю.
9. Система за п. 8, в якій електричний кабель має довжину, що становить щонайменше 500 метрів.
10. Система за п. 9, в якій електричний кабель має довжину, що не перевищує 3500 метрів.
- 45 11. Система за будь-яким із пп. 1-10, в якій перше оптичне волокно являє собою багатомодове оптичне волокно.
12. Система за будь-яким із пп. 1-11, в якій джерело світла містить світлодіод (LED).
13. Система за будь-яким із пп. 1-12, в якій пристрій виявлення світла містить увігнуту лінзу, яка розташована між кінцем посилювального елемента з композиційного матеріалу і датчиком
 50 світла та виконана з можливістю фокусування пропущеного світла на датчик світла.
14. Система за будь-яким із пп. 1-12, в якій датчик світла вибраний з датчика на основі приладу із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) і датчика на структурі КМОН.
15. Спосіб визначення стану посилювального елемента з композиційного матеріалу, армованого волокнами, що призначений для використання у повітряному електричному кабелі,
 55 при цьому посилювальний елемент має довжину щонайменше 100 метрів і містить щонайменше перший посилювальний складовий елемент, при цьому посилювальний складовий елемент містить зв'язувальну матрицю і множину армувальних волокон, функціонально розміщених в зв'язувальній матриці для утворення композиційного матеріалу, армованого волокнами, і щонайменше перше оптичне волокно, що закладене в композиційному матеріалі,

армованому волокнами, і що проходить вздовж довжини композиційного матеріалу, армованого волокнами, при цьому спосіб включає етапи:

функціональне приєднання світлопередавального пристрою до першого кінця посилювального елемента, при цьому світлопередавальний пристрій містить джерело світла, яке функціонально з'єднане з джерелом живлення і виконане з можливістю передачі світла, що має основну довжину хвилі, що становить щонайменше 300 нм і не перевищує 1700 нм, в перший кінець першого оптичного волокна; і

функціональне приєднання пристрою виявлення світла до другого кінця посилювального елемента;

спонукають світлопередавальний пристрій передавати світло через перше оптичне волокно і у напрямку до пристрою виявлення світла, при цьому світло, що передається, є некогерентним; і виявлення наявності некогерентного світла, що передається, за допомогою пристрою виявлення світла.

16. Спосіб за п. 15, за яким світло, що передається, має основну довжину хвилі в інфрачервоній ділянці.

17. Спосіб за будь-яким із пп. 15-16, за яким світло, що передається, має основну довжину хвилі, що становить, щонайменше 800 нм.

18. Спосіб за будь-яким із пп. 15-17, за яким світло, що передається, має основну довжину хвилі, що не перевищує 1000 нм.

19. Спосіб за будь-яким із пп. 15-18, за яким перший посилювальний складовий елемент включає в себе щонайменше друге оптичне волокно, що закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і що проходить вздовж довжини композиційного матеріалу, армованого волокнами, і при цьому етап передачі світла забезпечує передачу світла через друге оптичне волокно.

20. Спосіб за п. 19, за яким посилювальний складовий елемент включає в себе щонайменше третє оптичне волокно, що закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і що проходить вздовж довжини композиційного матеріалу, армованого волокнами, і при цьому етап передачі світла забезпечує передачу світла через третє оптичне волокно.

21. Спосіб за п. 20, за яким посилювальний складовий елемент включає в себе щонайменше четверте оптичне волокно, що закладене в композиційному матеріалі, армованому волокнами, і що проходить вздовж довжини композиційного матеріалу, армованого волокнами, і при цьому етап передачі світла забезпечує передачу світла через четверте оптичне волокно.

22. Спосіб за будь-яким із пп. 15-20, за яким посилювальний елемент з композиційного матеріалу має довжину, що становить щонайменше 500 метрів.

23. Спосіб за будь-яким із пп. 15-22, за яким посилювальний елемент з композиційного матеріалу має довжину, що становить щонайменше 3500 метрів.

24. Спосіб за будь-яким із пп. 15-23, за яким посилювальний елемент з композиційного матеріалу має довжину, що не перевищує 7500 метрів.

25. Спосіб за будь-яким із пп. 15-24, за яким під час етапів передачі світла і виявлення світла посилювальний елемент з композиційного матеріалу намотаний на котушку.

26. Спосіб за будь-яким із пп. 15-25, який додатково включає етап випробування посилювального складового елемента з композиційного матеріалу під навантаженням перед етапами передачі і виявлення світла.

27. Спосіб за будь-яким із пп. 15-25, за яким електричний провідник намотують навколо посилювального елемента з композиційного матеріалу для утворення повітряного електричного кабелю.

28. Спосіб за п. 27, за яким етапи передачі і виявлення світла виконують після намотування провідника навколо посилювального елемента з композиційного матеріалу і перед монтажем повітряного електричного кабелю на баштових опорах.

29. Спосіб за п. 27, за яким етапи передачі і виявлення світла виконують після монтажу повітряного електричного кабелю на баштових опорах.

30. Спосіб за будь-яким із пп. 15-29, за яким оптичне волокно являє собою багатомодове оптичне волокно.

31. Спосіб за будь-яким із пп. 15-30, за яким етап передачі світла включає подачу живлення на світлодіод (LED).

32. Спосіб за п. 31, за яким етап передачі світла включає механічне обертання світлодіода під час передачі світла.

33. Спосіб за п. 32, за яким світлодіод обертають з частотою обертання, що становить щонайменше 5 об./хв.

34. Спосіб за будь-яким із пп. 15-33, який включає етап нанесення гелю, призначеного для компенсації втрат відбиття в оптичному волокні, на перший кінець посилювального елемента для сприяння передачі світла в оптичне волокно.

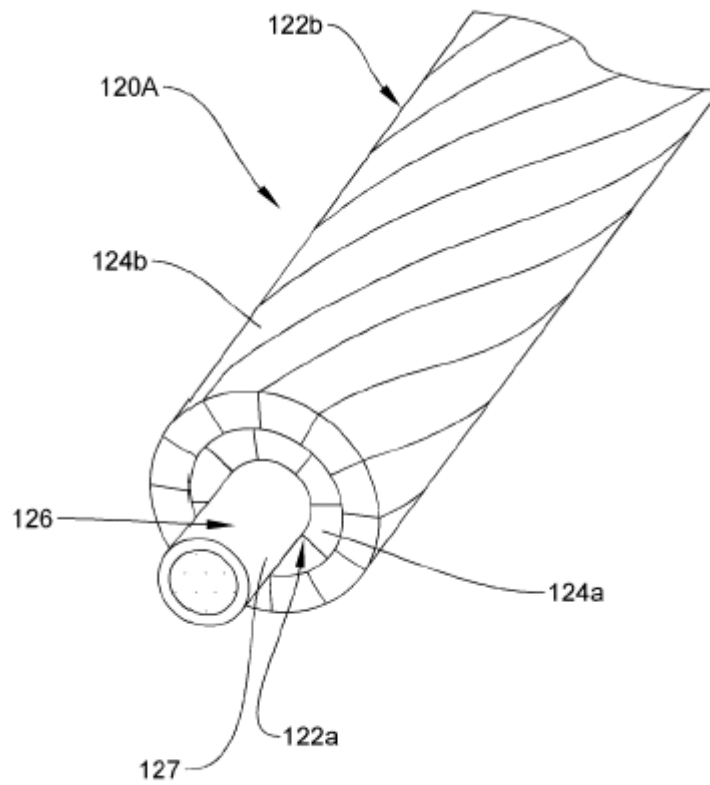


Fig. 1A

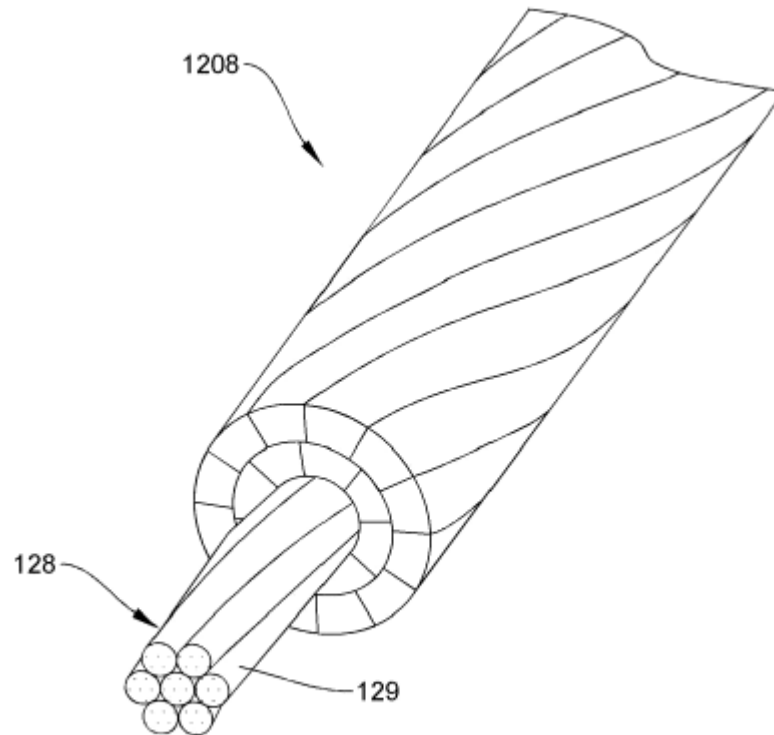


Fig. 1B

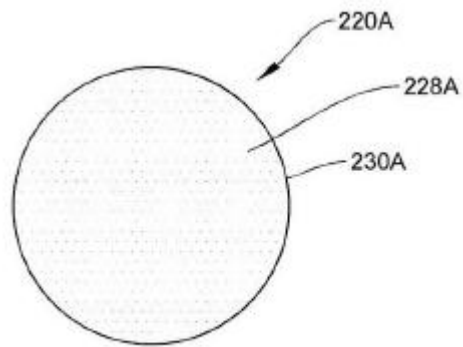


Fig. 2A

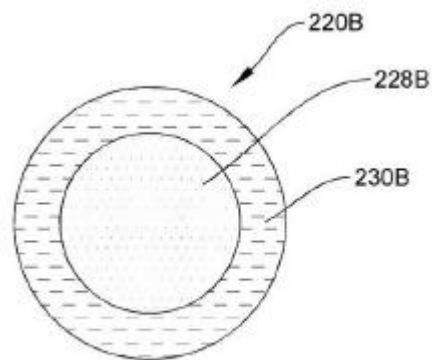


Fig. 2B

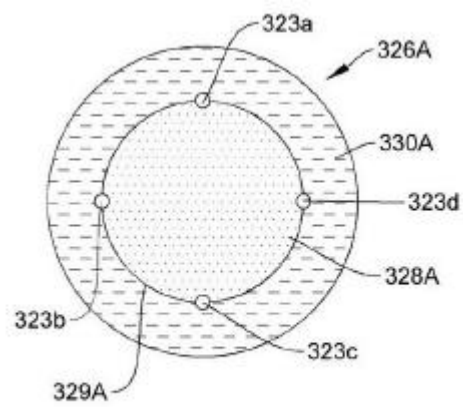


Fig. 3A

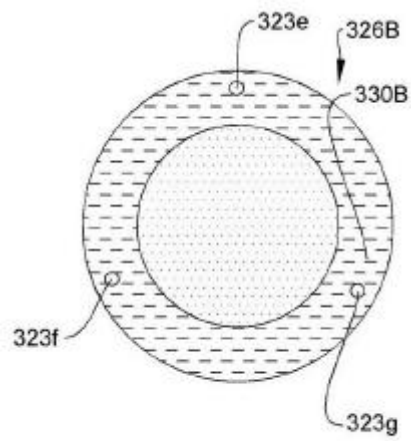


Fig. 3B

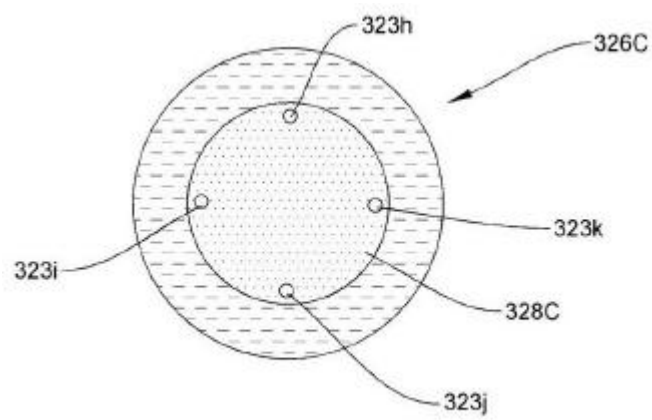


Fig. 3C

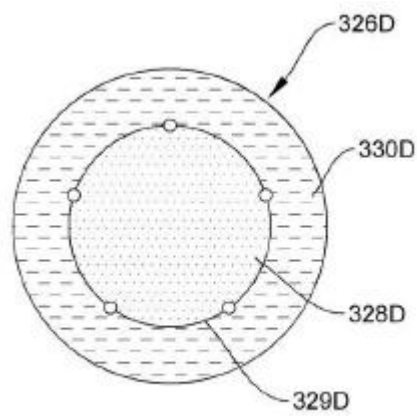


Fig. 3D

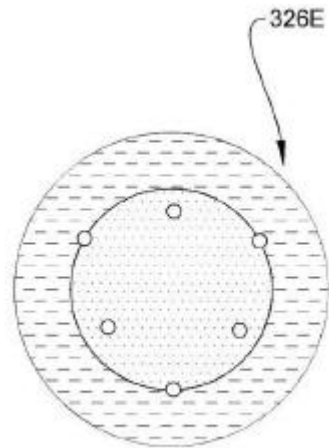


Fig. 3E

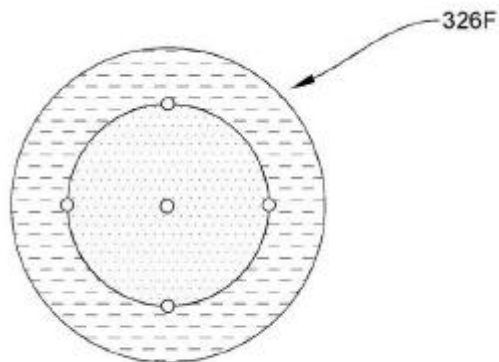


Fig. 3F

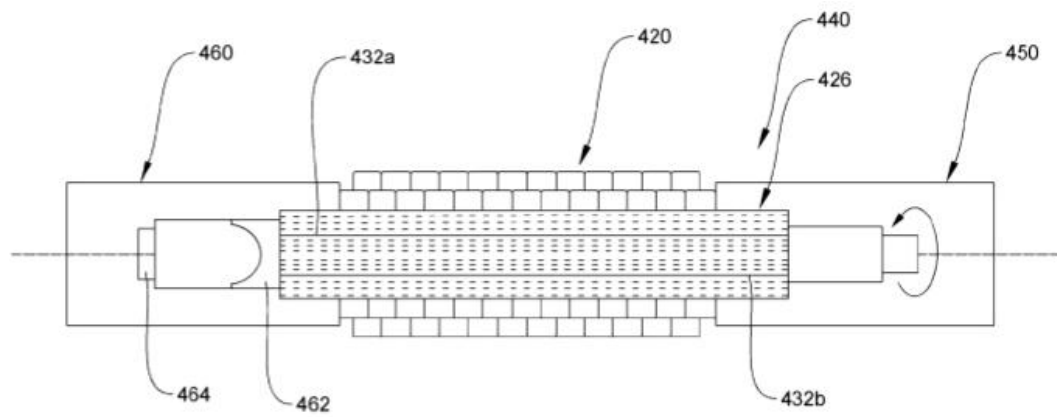


Fig. 4

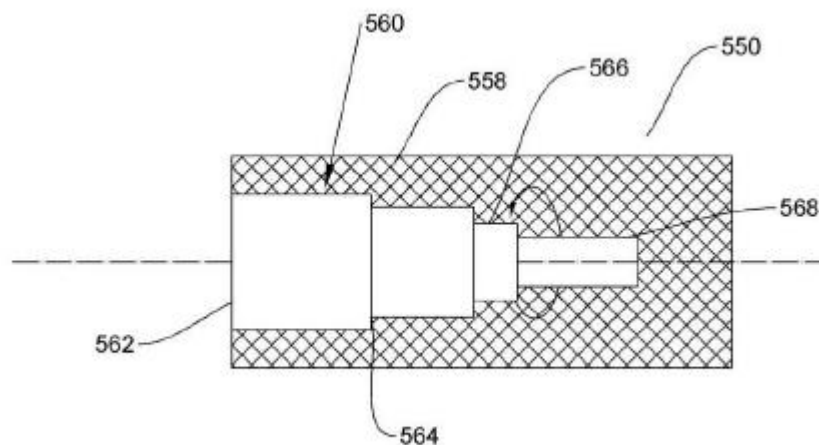


Fig. 5

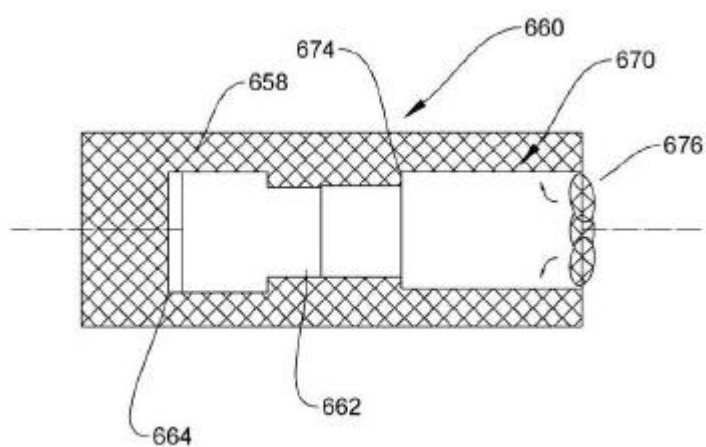


Fig. 6

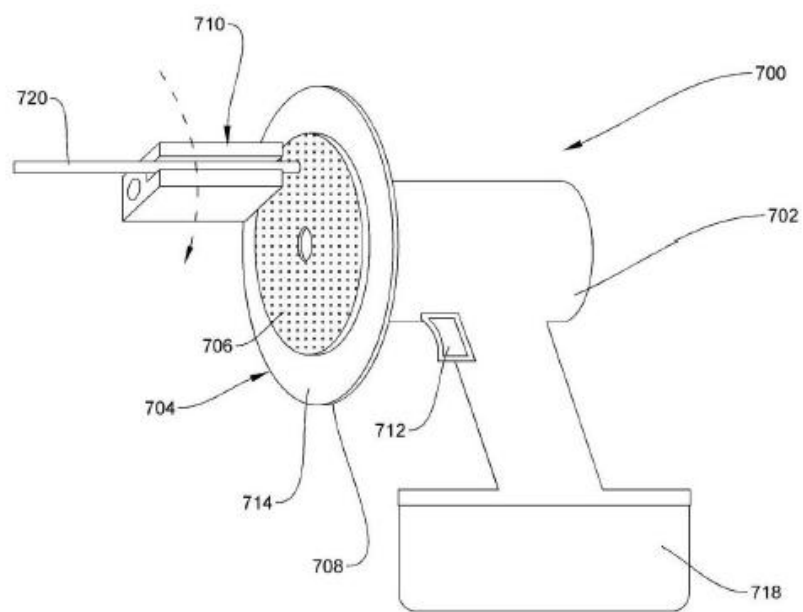


Fig. 7A

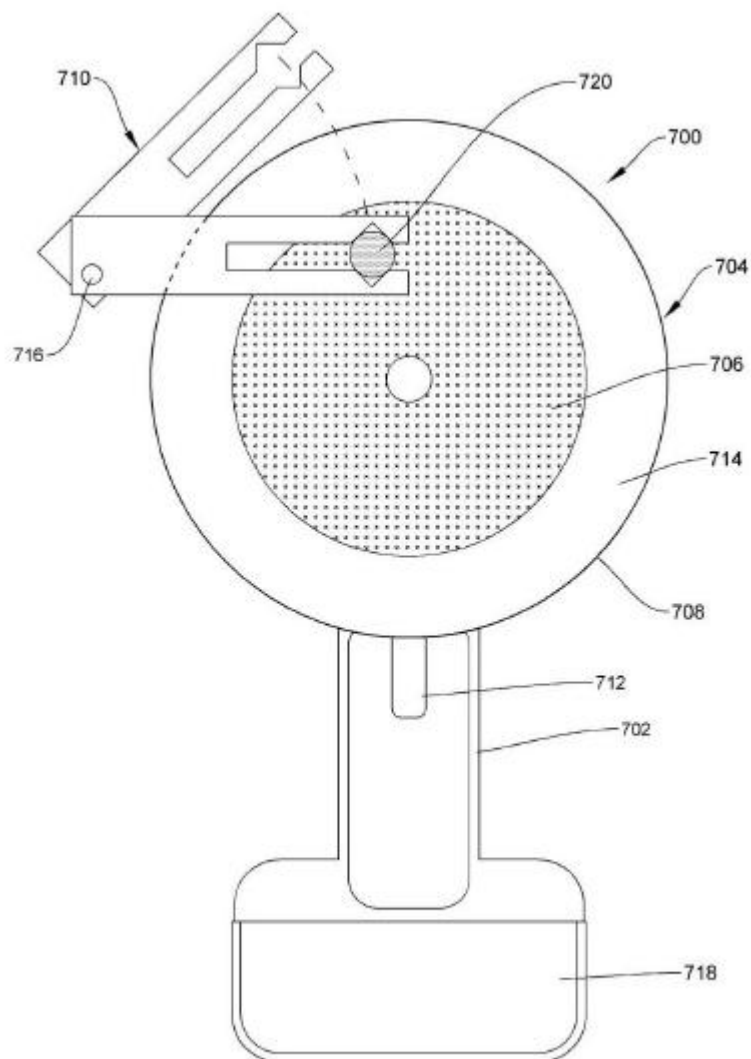


Fig. 7B