

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 926 787**

51 Int. Cl.:

B64D 15/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.10.2019 E 19204426 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.09.2022 EP 3643617**

54 Título: **Diseño de calentadores para sistemas de protección antihielo de alótopos de carbono**

30 Prioridad:

22.10.2018 US 201862748975 P
17.09.2019 US 201916573123

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.10.2022

73 Titular/es:

GOODRICH CORPORATION (100.0%)
4 Coliseum Centre, 2730 West Tyvola Road
Charlotte, NC 28217-4578, US

72 Inventor/es:

SLANE, CASEY;
HU, JIN;
CHING, NATHANIEL;
BOTURA, GALDEMIR CEZAR;
MULLEN, JAMES y
DIDYK, MARK JAMES

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 926 787 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Diseño de calentadores para sistemas de protección antihielo de alótropos de carbono

5 ANTECEDENTES

Esta solicitud se refiere generalmente a la protección antihielo y específicamente a los calentadores de protección antihielo.

10 Una aeronave que se desplaza por el aire a menudo está sujeta a la formación de hielo, y se deben usar dispositivos antihielo o de deshielo para eliminar o evitar que se acumule hielo en las superficies exteriores de la aeronave. Para cualquier tipo de calentadores eléctricos o calentadores de deshielo, cuanto más cerca esté el calentador de la superficie externa de una superficie de un perfil, góndola, cono de morro, capó del motor u otra parte de la aeronave, menos energía se necesita para calentar o descongelar el elemento de aeronave debido a la proximidad del calentador a la superficie externa.

15 En las aeronaves, los sistemas electrotérmicos de protección antihielo (IPS, por sus siglas en inglés) que contienen dichos calentadores se aplican a la parte trasera o se incrustan en los bordes de ataque para proporcionar el calor necesario a la superficie del borde de ataque que, de otro modo, estaría sujeta a la formación de hielo. Debido a las altas cargas de refrigeración térmica en los bordes de ataque mientras la aeronave está en vuelo, el calor no se propaga fácilmente desde el IPS a lo largo del borde de ataque a las áreas que no tienen calentadores directamente debajo. Por esta razón, las partes de aeronaves que contienen múltiples secciones, segmentos o listones que requieren desfragmentarse en la superficie del borde de ataque son susceptibles al crecimiento de hielo en las áreas de junta o unión que no están cubiertas por los bordes de los calentadores IPS. El documento US 6.338.455 B1 describe un dispositivo de calentamiento ejemplar para un perfil aerodinámico que incluye varios elementos resistivos que forman un primer conjunto y un segundo conjunto de elementos resistivos. Estos elementos están posicionados aproximadamente paralelos al borde de ataque, dispuestos de forma que formen un circuito de deshielo y antihielo. Se describen sistemas de protección antihielo adicionales en los documentos US 5.412.181 y DE 3907557.

30 RESUMEN

Según la invención, la presente divulgación proporciona un sistema de protección antihielo para un componente de aeronave como se define en la reivindicación 1. Las características opcionales de la invención se exponen en las reivindicaciones dependientes.

35 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 es un dibujo esquemático de un borde de ataque calentado con un sistema de protección antihielo (IPS) en una configuración de la técnica anterior.

40 La figura 2 es un dibujo esquemático de un borde de ataque calentado con un IPS que incluye un calentador de alótropo de carbono en forma de H.

45 La figura 3A-3B son dibujos esquemáticos de un borde de ataque calentado con un IPS que incluye un calentador de alótropo de carbono en forma de H en una primera realización.

Las figuras 4A-4B son dibujos esquemáticos de un borde de ataque calentado con un IPS que incluye un calentador de alótropo de carbono en forma de H en una segunda realización.

50 DESCRIPCIÓN DETALLADA

Se puede usar un calentador que tiene al menos una sección a lo largo de la cuerda conectada a una sección a lo largo de la envergadura en componentes de aeronaves en o cerca de las secciones de unión para permitir una cobertura térmica completa y protección antihielo. Dichos calentadores pueden tener forma de H, forma de T o forma de L. Por ejemplo, un calentador en forma de H tiene dos secciones a lo largo de la cuerda conectadas en su centro por una sección a lo largo de la envergadura. De manera similar, un calentador en forma de T o en forma de L tiene una sección a lo largo de la cuerda conectada a una sección a lo largo de la envergadura. Esta configuración puede mitigar el frío donde las secciones de los componentes se unen para formar una unión al permitir la conexión eléctrica a las secciones a lo largo de la cuerda que encajan en dichas secciones de unión. Este enfoque se puede usar particularmente con alótropos de carbono como los sistemas de calefacción basados en nanotubos de carbono (CNT, por sus siglas en inglés), ya que los sistemas de alótropos de carbono permiten conexiones eléctricas al final de cada sección de un calentador.

65 La figura 1 es un dibujo esquemático de un borde de ataque calentado 10 con sistema de protección antihielo (IPS) 11 en una configuración de la técnica anterior. El IPS 11 incluye una primera sección 12, una segunda sección 14, una sección de unión 16, calentadores 18 con conexiones eléctricas 20 y la sección fría 22.

La primera sección 12 y la segunda sección 14 del borde de ataque pueden ser, por ejemplo, paneles en un ala que se unen en la sección de unión 16. Los calentadores 18 están sobre o incrustados en cada una de la primera sección 12 y la segunda sección 14 para protección antihielo. Los calentadores 18 pueden ser, por ejemplo, calentadores a base de alótropos de carbono, calentadores metálicos u otros sistemas de protección antihielo. Los calentadores 18 transcurren a lo largo de la envergadura S a través de cada una de las secciones de componentes 12, 14 y calientan una gran parte de las secciones 12, 14. Los calentadores 18 están conectados eléctricamente a fuentes de energía en las conexiones eléctricas 20.

Sin embargo, los calentadores 18 no pueden atravesar la sección de unión 16, ya que la primera sección 12 y la segunda sección 14 se fabrican como conjuntos desmontables separados; por ejemplo, puede ser necesario que se instalen o se retiren de forma independiente o que se muevan de forma independiente durante el vuelo, como en el caso de los listones retráctiles. Debido a esto, durante el vuelo, cuando hay altas cargas de refrigeración térmica en el IPS 10, los calentadores 18 no pueden difundir el calor más allá del área inmediata en la que se encuentran. Esto da como resultado la sección fría 22 cerca de la sección de unión 16. Además, las conexiones eléctricas 20 al final de los calentadores 18 son generalmente más frías que el cuerpo de los calentadores 18. Por esta razón, las conexiones eléctricas 20 en los calentadores 18 contribuyen aún más a la creación de la sección fría 22. La sección fría 22 está sujeta a la formación de hielo porque no está calentada. La formación de hielo en la sección fría 22 afecta a la aerodinámica, el funcionamiento de las alas, tal como los listones de potencia, y actúa como un ancla para una mayor acumulación de hielo.

La figura 2 es un dibujo esquemático del conjunto de borde de ataque calentado 30 con el IPS 31 que incluye un calentador de alótropo de carbono en forma de H. El conjunto de borde de ataque 30 incluye la primera sección 32 con la porción final 33, la segunda sección 34 con la porción final 35, la sección de unión 36 con la junta 37, los calentadores lineales 38 y los calentadores en forma de H 40.

El conjunto de borde de ataque 30 puede ser, por ejemplo, el borde de ataque de un ala. Un borde de ataque es un ejemplo de un componente al que se le podría aplicar el IPS 31. Por ejemplo, el IPS podría aplicarse a un borde de ataque de un estabilizador vertical o un estabilizador horizontal, u otros componentes que contengan una unión y que necesiten un calentamiento uniforme para la protección antihielo.

El conjunto de borde de ataque 30 contiene la primera sección 32, la segunda sección 34 unidas en la sección de unión 36. La porción final 33 de la primera sección 32 y la porción final 35 de la segunda sección 34 son adyacentes entre sí y forman la sección de unión 36. La sección de unión 36 contiene la unión 37 donde se encuentran la primera sección 32 y la segunda sección 34. Los calentadores lineales 38 se encuentran en y calientan la primera sección 32 y la segunda sección 34, pero no calientan las porciones 33, 35, que constituyen la sección de unión 36 que rodea la junta 37. En cambio, los calentadores en forma de H llenan el espacio en la sección de unión 36 y calientan junto a la unión 37 que une la porción 33 de la primera sección 32 y la porción 35 de la segunda sección 34. En algunas realizaciones, la unión 37 puede ser un segmento o intersección o uno o más componentes o partes.

Los calentadores en forma de H 40 promueven la protección antihielo y el calentamiento a través de las secciones de componentes 32, 34, incluida la sección de unión 36. Los calentadores en forma de H 40 tienen una resistividad eléctrica entre 0,005 ohmios por cuadrado ($\Omega/\text{cuad.}$) y 3,0 $\Omega/\text{cuad.}$

Cada calentador en forma de H 40 tiene dos secciones a lo largo de la cuerda con una longitud L_1 y una anchura W_2 , conectadas centralmente por una sección a lo largo de la envergadura (S) con una anchura W_1 (aproximadamente el doble de la anchura W_2 de las secciones a lo largo de la cuerda). Las secciones a lo largo de la cuerda (C) se disponen o se incrustan en la primera sección 32 y la segunda sección 34 de manera que se extienden hacia la sección de unión 36 más allá de los extremos de los calentadores lineales 38. Esto permite que las secciones a lo largo de la cuerda estén lo más cerca posible de una junta en la sección de unión 36 y eliminar la sección fría 22 analizada con referencia a la figura 1.

Las secciones a lo largo de la cuerda de los calentadores en forma de H 40 están eléctricamente acopladas a las secciones a lo largo de la envergadura y funcionan en modo antihielo para evitar la formación y el crecimiento de hielo. Se pueden usar diversas configuraciones eléctricas y geometrías específicas para proporcionar diferentes perfiles de calentamiento dependiendo de las necesidades de calentamiento del componente al que se aplican los calentadores en forma de H 40. Los esquemas físicos y eléctricos de los calentadores 40 se analizan con mayor profundidad con respecto a las figuras 3A-3B y 4A-4B.

Los calentadores en forma de H 40 están hechos de un material alótropo de carbono. Por ejemplo, los nanotubos de carbono (CNT) son alótropos de carbono que tienen una nanoestructura generalmente cilíndrica y tienen una diversidad de usos en nanotecnología, electrónica, óptica y otras ciencias de los materiales. Los CNT son tanto térmica como eléctricamente conductores, además de ser livianos. Debido a estas propiedades, los CNT se pueden usar como calentadores para evitar la formación de hielo en aeronaves u otros vehículos. Otros alótropos de carbono, tales como el grafeno o las nanocintas de grafeno (GNR), también se pueden usar para calentar o descongelar. El grafeno tiene una estructura reticular de panel bidimensional y es mucho más fuerte que el acero, pero sigue siendo eléctrica y

térmicamente conductor. Los GNR son tiras de grafeno con anchos ultrafinos, típicamente de menos de 50 nm por tira.

5 Los calentadores de alótropos de carbono son excepcionalmente beneficiosos para la descongelación debido a su alta eficiencia, peso ligero y capacidad para moldearse en formas específicas y durabilidad. Son más duraderos a largo plazo en comparación con los calentadores metálicos tradicionales y pueden moldearse más fácilmente para las necesidades de aplicaciones específicas.

10 La figura 3A-3B son dibujos esquemáticos de un borde de ataque calentado con un IPS que incluye un calentador de alótropo de carbono en forma de H en una primera realización. La figura 3A muestra un esquema físico de un IPS con un calentador de alótropo de carbono en forma de H, mientras que la figura 3B muestra un esquema eléctrico.

15 La figura 3A es un dibujo esquemático del conjunto de borde de ataque calentado 50 con el IPS 51, la sección principal 52, las secciones de unión 56, los calentadores lineales 58 y el calentador en forma de H 60. Cada uno de los calentadores de alótropos de carbono en forma de H 60 para su uso en el sistema IPS 51 incluye una sección a lo largo de la envergadura 62, una sección a lo largo de la cuerda 64, conexiones eléctricas positivas 66 y conexiones eléctricas negativas 68.

20 Las secciones 52, 56 y los calentadores lineales 58 son similares a los componentes analizados en relación con la figura 2. La sección principal 52 tiene una envergadura y una cuerda. Los calentadores lineales 58 se aplican en la sección principal 52 en la dirección de la envergadura. Los calentadores lineales 58 no llegan a las secciones de unión 56.

25 El uso de un diseño de patrón en "H" para el calentador 60 abarca dos secciones a lo largo de la cuerda 64 y una sección a lo largo de la envergadura 62. Las secciones a lo largo de la cuerda 64 discurren a lo largo de la cuerda de la sección principal 52, mientras que la sección a lo largo de la envergadura 62 discurre a lo largo de la envergadura de la sección principal 52. Las secciones a lo largo de la cuerda 64 tienen longitudes equivalentes y discurren paralelas entre sí. La sección transversal 62 conecta las secciones a lo largo de la cuerda 64 en el centro de las secciones a lo largo de la cuerda 64, formando una forma de "H".

30 Las secciones a lo largo de la cuerda 64 se encuentran cerca de los bordes de las juntas en la sección de unión 56. Esto mitiga el frío en las secciones de unión 56 del conjunto de borde de ataque 50. Las secciones a lo largo de la cuerda 64 están acopladas eléctricamente con la sección a lo largo de la envergadura 62 y pueden funcionar en modo antihielo para evitar el crecimiento de hielo.

35 En la realización de las figuras 3A-3B, las secciones a lo largo de la cuerda 64 albergan conexiones eléctricas al calentador 60. Las conexiones eléctricas positivas 66 se encuentran en los extremos opuestos de la primera sección a lo largo de la cuerda, mientras que las conexiones eléctricas negativas 68 se encuentran en los extremos opuestos de la segunda sección a lo largo de la cuerda. Las conexiones eléctricas a 66, 68 se pueden realizar a través de una barra colectora, cables, pasta de soldadura u otro material de conexión apropiado que acople el calentador 60 a una fuente de alimentación.

40 La figura 3B es un dibujo esquemático de la configuración eléctrica del calentador en forma de H 60 en el conjunto de borde de ataque 50. Aquí, los calentadores lineales 58 se muestran con las resistencias 59. El calentador en forma de H 60 se muestra con la resistencia a lo largo de la envergadura 70 y las resistencias a lo largo de la cuerda 72, 74, 76 y 78.

45 Cada una de las resistencias 59 está situada a lo ancho de la envergadura, en el centro de uno de los calentadores lineales 58. Cada una de las resistencias 59 son iguales entre sí. La resistencia 70 se encuentra en la sección a lo largo de la envergadura 62 del calentador 60. La resistencia 70 es igual al doble de una resistencia 59. Las resistencias 72, 74, 76, 78 se encuentran en las secciones a lo largo de la cuerda 64 del calentador 60. Cada una de las resistencias 72, 74, 76, 78 es igual a una resistencia 59.

50 Esta configuración de resistencia permite una potencia constante en todo el calentador 60 y todo el IPS en el conjunto de borde de ataque 50. En algunas realizaciones, esto se logra mediante una corriente constante y una resistencia constante. Como alternativa, esto se logra mediante una corriente variable y una resistencia variable para producir una potencia constante.

55 Las figuras 4A-4B son dibujos esquemáticos de un borde de ataque calentado con un IPS que incluye un calentador de alótropo de carbono en forma de H en una segunda realización. La figura 4A muestra un esquema físico de un IPS con un calentador de alótropo de carbono en forma de H, mientras que la figura 4B muestra un esquema eléctrico.

60 La figura 4A es un dibujo esquemático del conjunto de borde de ataque calentado 80 con el IPS 81, la sección principal 82, las secciones de unión 86, los calentadores lineales 88 y el calentador en forma de H 90. El calentador de alótropo de carbono en forma de H 90 para su uso en un sistema IPS tiene una configuración eléctrica diferente a la del calentador 60. El calentador 90 incluye la sección a lo largo de la envergadura 92, las secciones a lo largo de la cuerda

94, la conexión eléctrica positiva 96 y la conexión eléctrica negativa 98.

Las secciones 82, 86 y los calentadores lineales 88 son similares a los componentes analizados en relación con la figura 2. La sección principal 82 tiene tanto una envergadura como una cuerda. Los calentadores lineales 88 se aplican en la sección principal 82 en la dirección de la envergadura. Los calentadores lineales 88 no llegan a las secciones de unión 86.

El uso de un diseño de patrón en "H" para el calentador 90 abarca dos secciones a lo largo de la cuerda 94 y una sección a lo largo de la envergadura 92. Esto mitiga el frío en las secciones de unión 86 del conjunto de borde de ataque 80. Aquí, el patrón "H" del calentador 90 es un patrón en forma de serpiente que discurre desde la conexión eléctrica positiva 96 hasta la conexión eléctrica negativa 98 en forma de "H". Los beneficios de esta configuración son que las conexiones eléctricas se minimizan mientras se asegura que toda la "H" se caliente simultáneamente. Las conexiones eléctricas 96, 98 pueden conectarse de manera similar a las descritas con referencia a la figura 3A.

La figura 4B es un dibujo esquemático de la configuración eléctrica del calentador en forma de H 90 en el conjunto de borde de ataque 80. El conjunto 80 incluye calentadores lineales 88 con resistencias 89, el calentador en forma de H 90 con sección a lo largo de la envergadura 92, secciones a lo largo de la cuerda 94, conexiones 96, 98 y resistencias 100, 102, 104, 106, 108, 110, 112 y 114.

En los calentadores lineales 88, las resistencias 89 están situadas cada una a lo largo de la envergadura, en el centro de uno de los calentadores lineales 88. Cada una de las resistencias 89 son iguales entre sí. Las resistencias 100, 102, 104, 106, 108 y 110 se encuentran en las secciones a lo largo de la cuerda del calentador 90. Las resistencias 100, 102, 106 y 108 tienen la misma longitud. Asimismo, las resistencias 104 y 110 tienen la misma longitud. Las resistencias 112 y 114 se encuentran en la porción a lo largo de la envergadura del calentador 90. Esta configuración eléctrica permite una potencia eléctrica variable en todo el calentador 90 y el conjunto de borde de ataque 80. Esto se puede lograr a través de corriente constante con resistencia variable.

Como alternativa, los calentadores en forma de H se pueden reemplazar por calentadores en forma de T o en forma de L. Estas formas de calentadores tienen al menos una sección a lo largo de la cuerda capaz de aplicarse cerca del borde de una sección de componente de manera que una sección de unión resultante se caliente por la sección a lo largo de la cuerda. Cada una de estas formas de calentadores también debería tener al menos una sección a lo largo de la envergadura conectada a la al menos una sección a lo largo de la cuerda. La sección a lo largo de la envergadura permite la conexión eléctrica entre la sección a lo largo de la superficie del componente.

El calentador que tiene al menos una sección a lo largo de la cuerda permite la mitigación de la acumulación de hielo en las secciones de unión o junta en los componentes de una aeronave. La acumulación de hielo puede interferir con las operaciones normales del ala, tales como los listones de potencia, además de afectar a la aerodinámica. La acumulación de hielo también puede actuar como un ancla y promover el crecimiento de hielo adicional o "puente" cuando se permite que se acumule en las áreas de unión. El uso de un calentador de este tipo simplifica la protección antihielo mediante el uso de una sección de conexión a lo largo de la envergadura entre dos secciones a lo largo de la cuerda. Debido a esta geometría, no se necesitan conexiones o circuitos eléctricos adicionales para calentar las secciones de unión.

Aunque la invención se ha descrito con referencia a una o más realizaciones ejemplares, los expertos en la materia entenderán que se pueden realizar diversos cambios sin apartarse del alcance de la invención. Además, pueden realizarse muchas modificaciones para adaptar una situación o material particular a las enseñanzas de la invención sin apartarse del alcance esencial de la misma. Por lo tanto, se pretende que la invención no se limite a la realización o las realizaciones particulares divulgadas, sino que la invención incluya todas las realizaciones que entren dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de protección antihielo para un componente de aeronave que comprenda:
 - 5 una primera sección (32) del componente de aeronave que tiene una primera envergadura y una primera cuerda; una segunda sección (34) del componente de aeronave, adyacente a la primera sección, que tiene una segunda envergadura y una segunda cuerda
 - 10 unida a la primera sección por una junta (37); y una sección de unión (36) que comprende: una porción final (33) de la primera sección (32); y una porción final (35) de la segunda sección (34) adyacente a la porción final (33) de la primera sección (32);
 - 15 una primera pluralidad de calentadores (38) que se expanden transversalmente a través de la primera sección configurados para calentar la primera sección (32); una segunda pluralidad de calentadores (38) que se expanden transversalmente a través de la segunda sección configurados para calentar la segunda sección (34); un primer calentador (40) en la primera sección (32), donde el primer calentador (40) tiene al menos una sección a lo largo de la cuerda conectada al menos a una sección a lo largo de la envergadura y la al menos una sección a lo largo de la cuerda está posicionada en la sección de unión (36) de manera que la al menos una sección a lo largo de la cuerda esté configurada para calentar la porción final (33) de la primera sección (32); y
 - 20 un segundo calentador (40) en la segunda sección (34), donde el segundo calentador tiene al menos una sección a lo largo de la cuerda conectada al menos a una sección a lo largo de la envergadura y la al menos una sección a lo largo de la cuerda está posicionada en la sección de unión (36) de manera que la al menos una sección a lo largo de la cuerda esté configurada para calentar la porción final (35) de la segunda sección (34).
 2. El sistema de la reivindicación 1, donde el sistema de protección antihielo está configurado para aplicarse a un componente de aeronave seleccionado del grupo que consiste en bordes de ataque de alas, bordes de ataque de estabilizadores verticales, bordes de ataque de estabilizadores horizontales, pilones, paletas, hélices, palas, entradas de motor y superficies que requieren calentadores adyacentes.
 3. El sistema de la reivindicación 1 o 2, donde el primer y segundo calentadores (40) tienen forma de H, forma de T o forma de L.
 - 35 4. El sistema de la reivindicación 3, donde el primer y segundo calentadores (40) son calentadores en forma de H y cada uno comprende dos secciones a lo largo de la cuerda (64) conectadas por una sección a lo largo de la envergadura (62).
 - 40 5. El sistema de la reivindicación 4, donde cada uno del primer y segundo calentadores (40) comprende además una resistencia (70) en la sección a lo largo de la envergadura y dos resistencias (72, 74, 76, 78) en cada una de las secciones a lo largo de la cuerda.
 - 45 6. El sistema de cualquier reivindicación anterior, donde cada uno del primer y segundo calentadores (40) comprende una resistividad eléctrica entre 0,005 ohmios por cuadrado ($\Omega/\text{cuad.}$) y 3,0 $\Omega/\text{cuad.}$
 7. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el primer y el segundo calentadores (40) comprenden cada uno un material seleccionado del grupo que consiste en nanotubos de carbono, grafeno, nanocintas de grafeno y combinaciones de los mismos.
 - 50 8. El sistema de cualquier reivindicación anterior, donde la energía eléctrica es constante en cada uno del primer y segundo calentadores (40).
 9. El sistema de la reivindicación 7, donde cada uno del primer y segundo calentadores (40) tiene forma de H y comprende además:
 - 55 dos conexiones eléctricas positivas (66), cada una al final de una primera sección a lo largo de la cuerda; y dos conexiones eléctricas negativas (68), cada una al final de una segunda sección a lo largo de la cuerda.
 - 60 10. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, donde la energía eléctrica es variable en cada uno del primer y segundo calentadores (40).
 11. El sistema de la reivindicación 10, donde cada uno del primer y segundo calentadores (40) tiene forma de H y comprende además:
 - 65 una conexión eléctrica positiva en un extremo de una sección a lo largo de la cuerda; y una conexión eléctrica negativa en un extremo de la sección a lo largo de la cuerda.

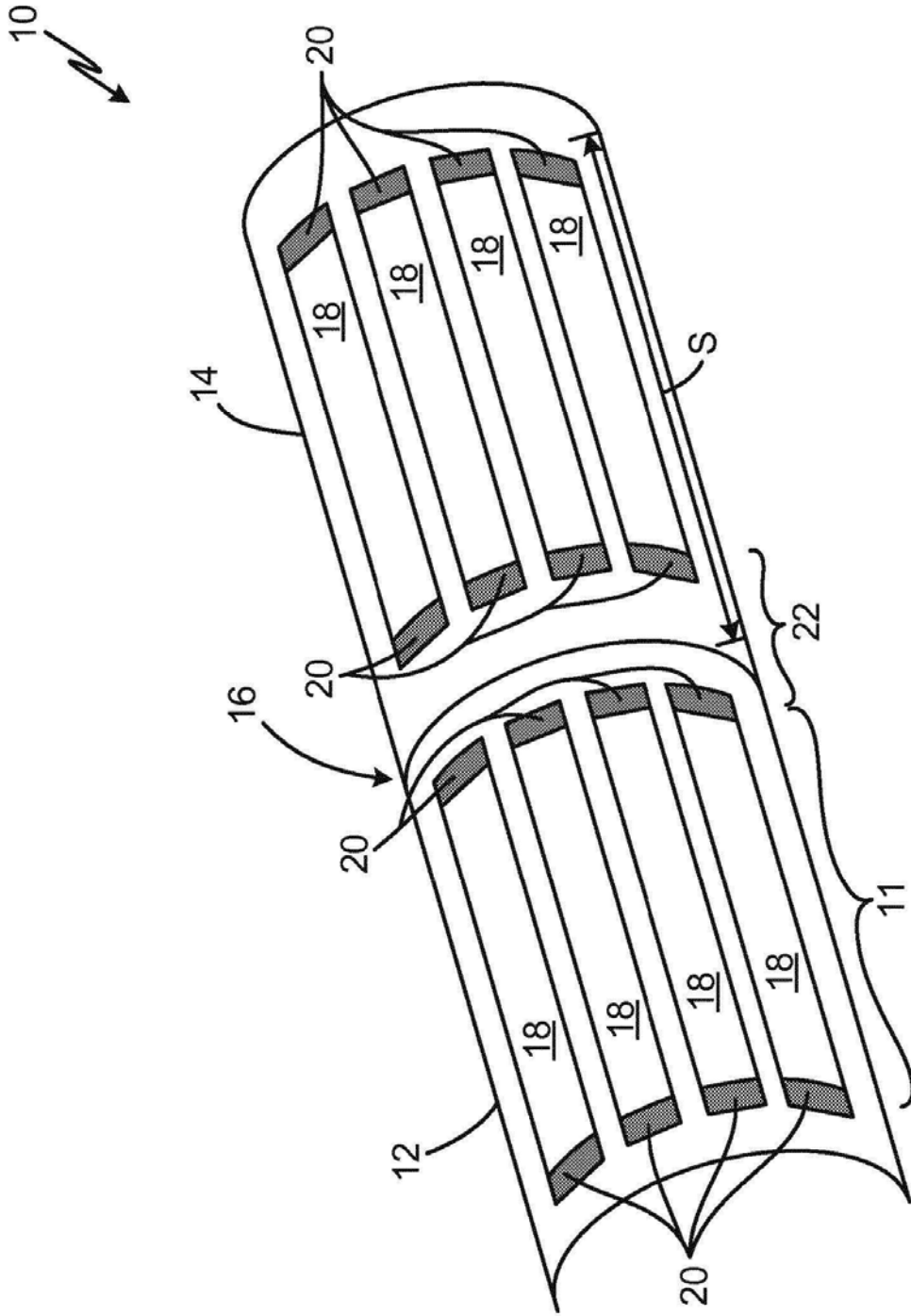


Fig. 1
Técnica Anterior

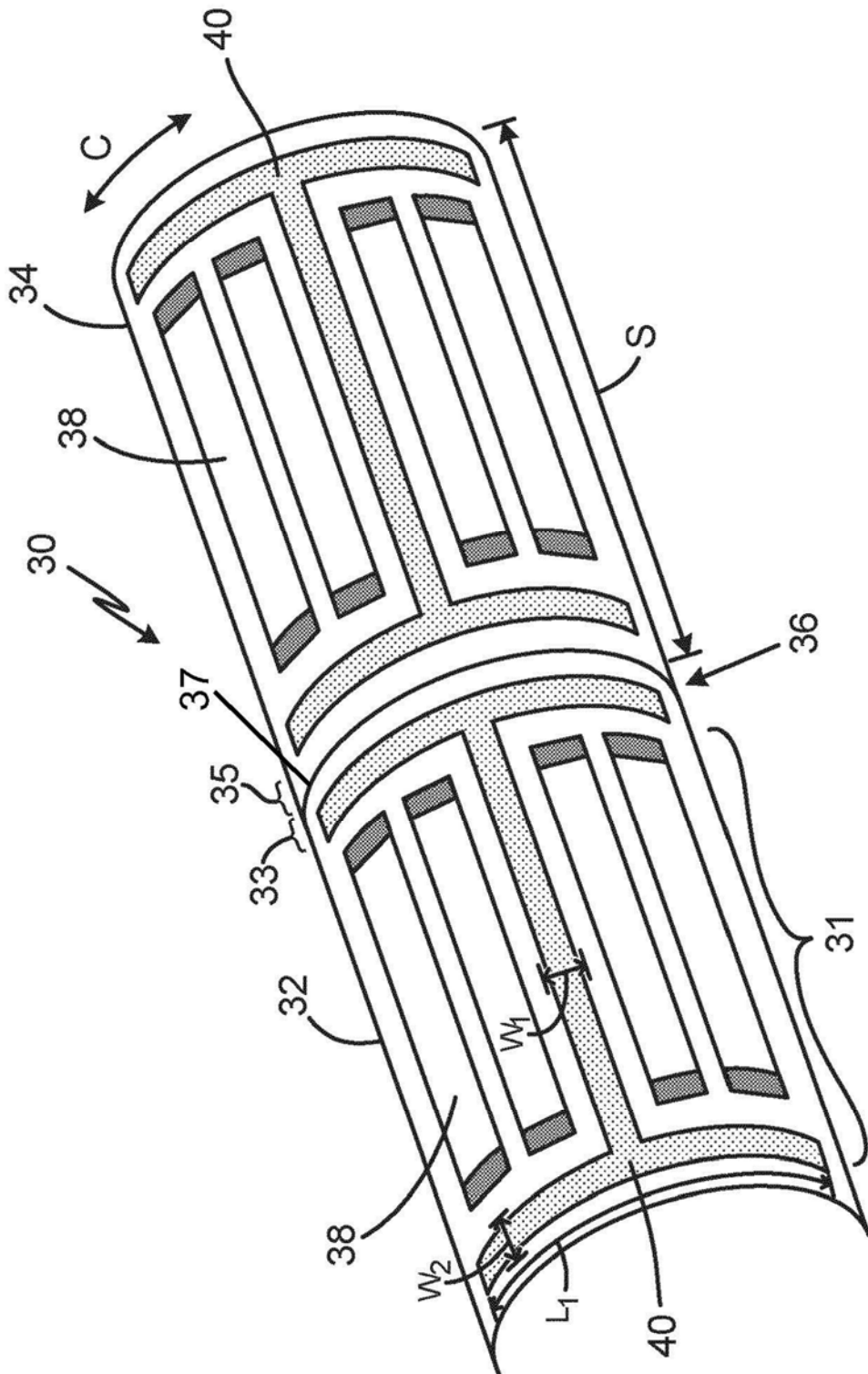


Fig. 2

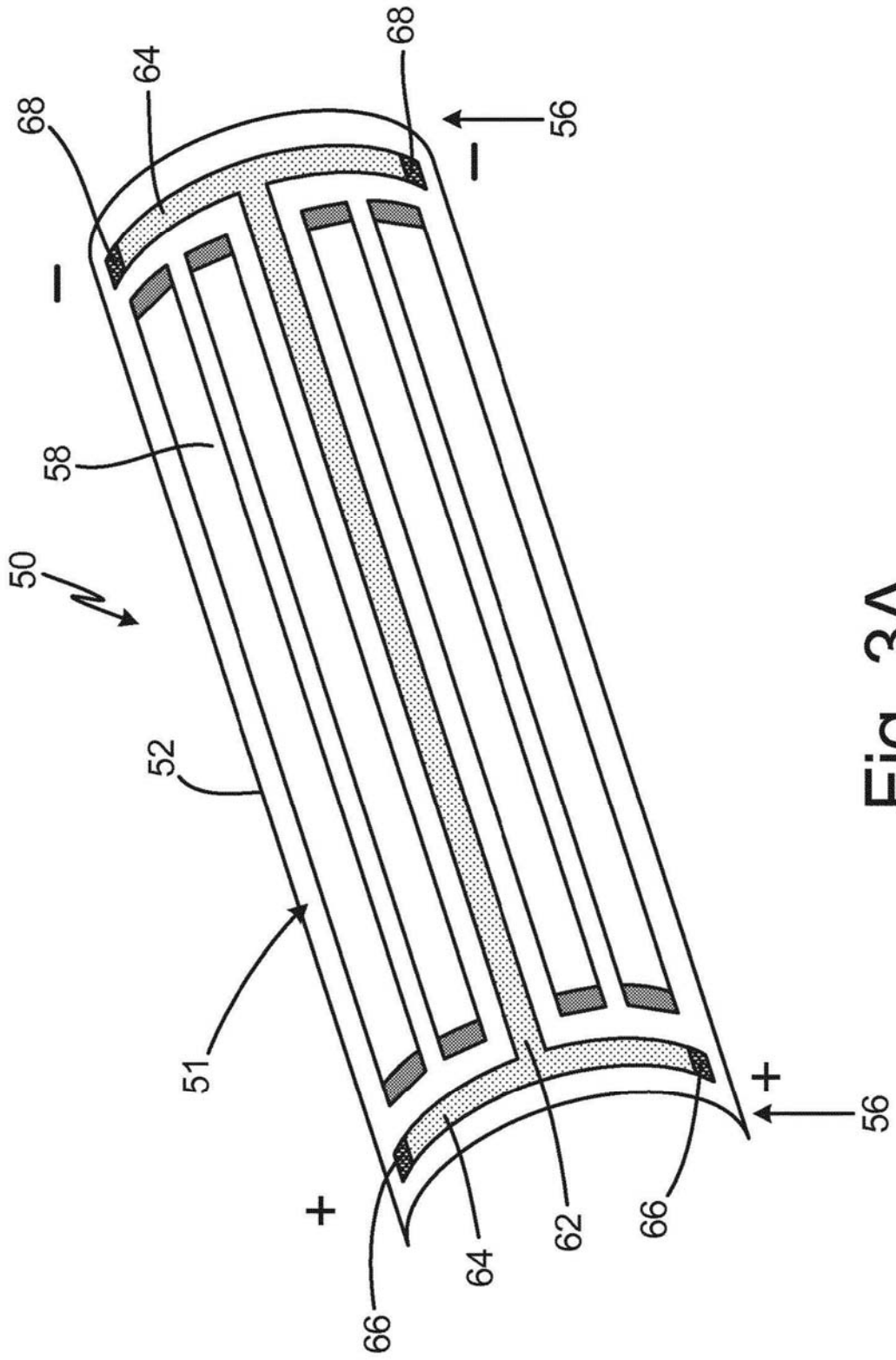


Fig. 3A

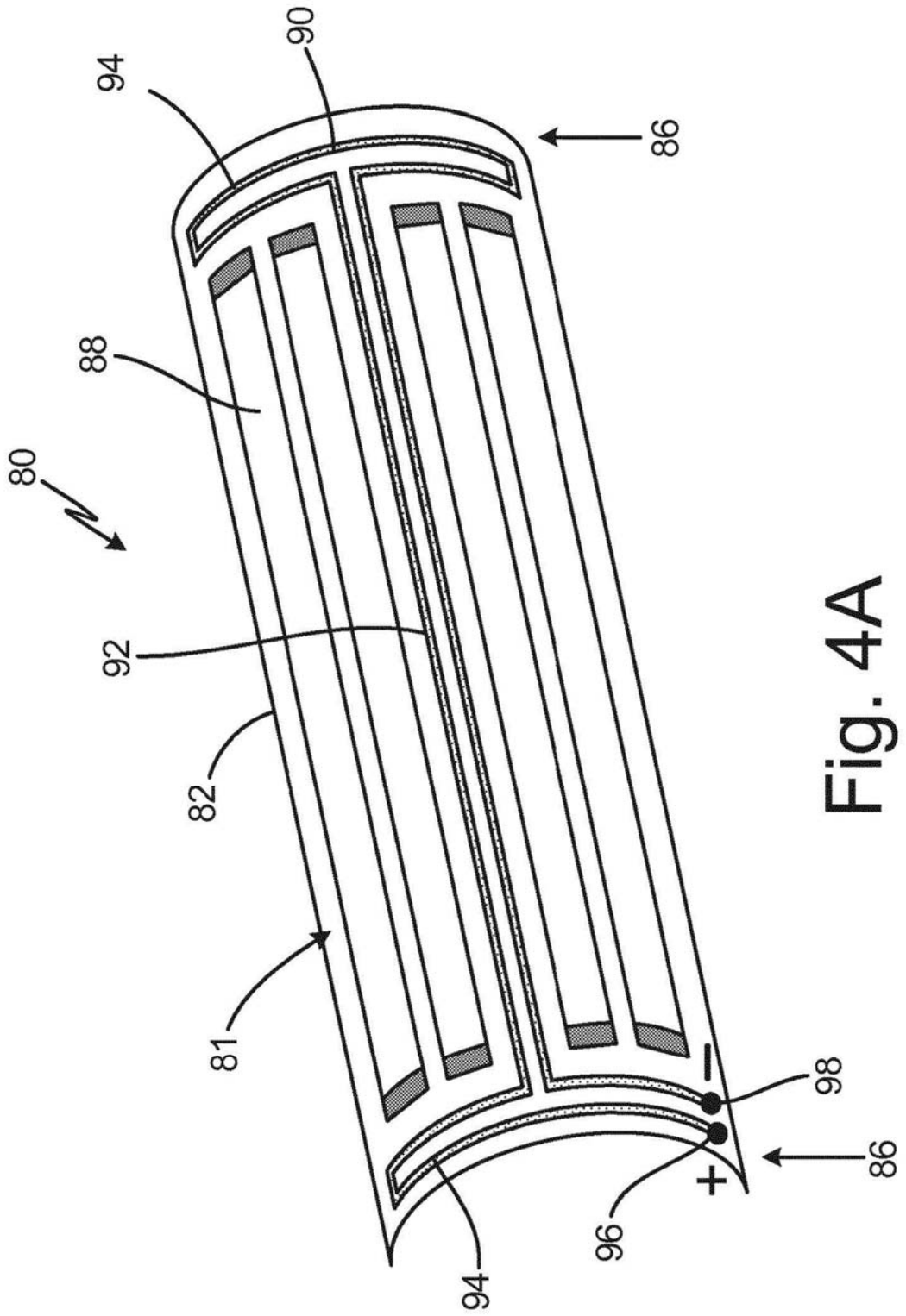


Fig. 4A

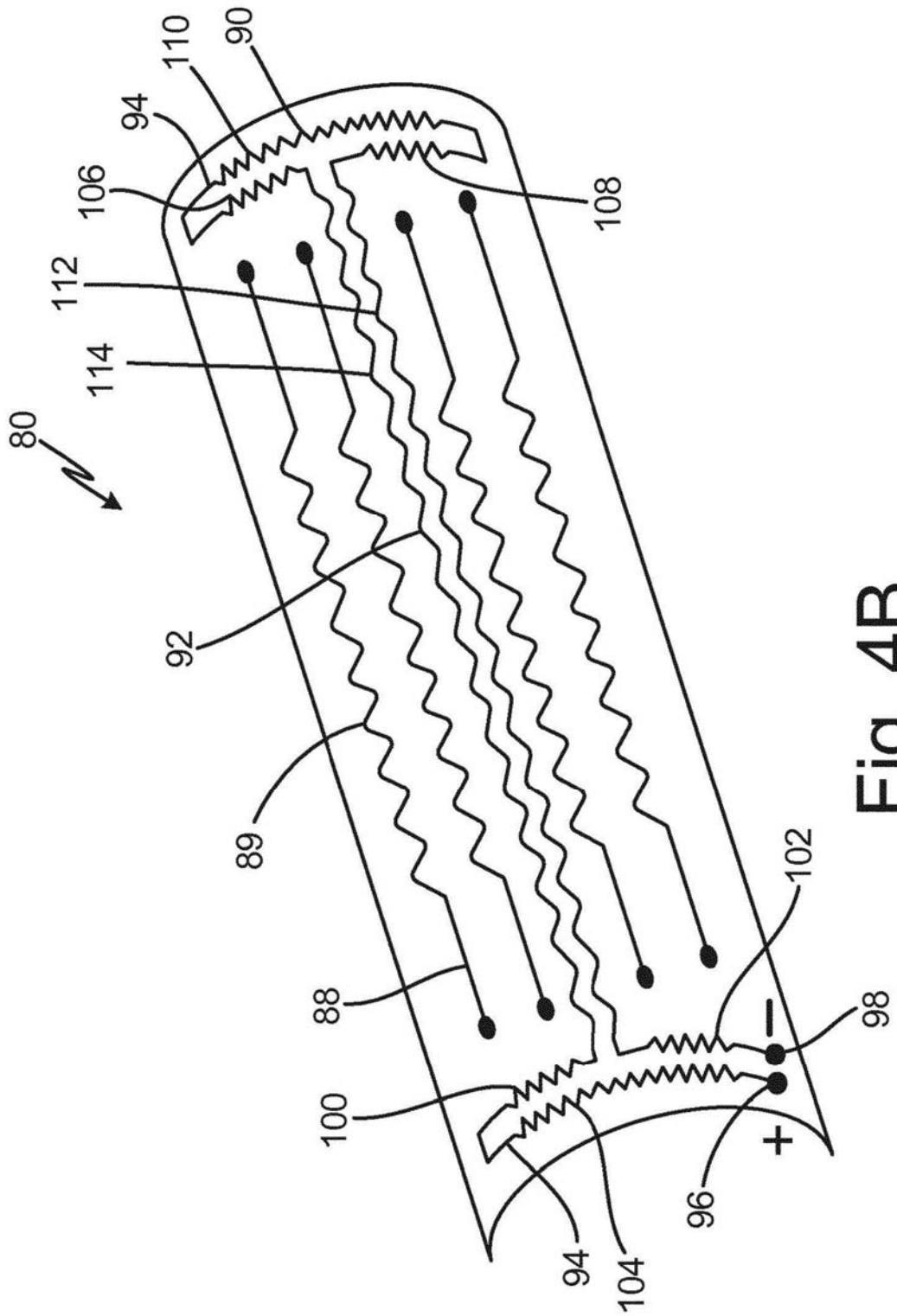


Fig. 4B