

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 719 826**

51 Int. Cl.:

F41A 21/02 (2006.01)

F41A 21/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.08.2014 PCT/US2014/053194**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.03.2015 WO15031635**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.08.2014 E 14840129 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.02.2019 EP 3039374**

54 Título: **Cañón de proyectil compuesto de alta temperatura**

30 Prioridad:

28.08.2013 US 201361871154 P
04.09.2013 US 201361873771 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.07.2019

73 Titular/es:

PROOF RESEARCH, INC. (100.0%)
10 Western Village LN
Columbia Falls, MT 59912, US

72 Inventor/es:

CURLISS, DAVID B.;
LINCOLN, JASON E. y
DEGERNESS, MICHAEL K.

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 719 826 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

Cañón de proyectil compuesto de alta temperatura

5 Referencia cruzada a las solicitudes relacionadas

Esta solicitud reivindica la prioridad a dos solicitudes provisionales de patentes: núm. 61/871,154 presentada el 28 de agosto de 2013 y núm. 61/873,771 presentada el 4 de septiembre de 2013.

10 Antecedentes de la invención

Los usuarios han deseado durante mucho tiempo sistemas de armas de fuego más ligeras que sean duraderas y confiables. Se conoce que se sustituyen materiales relativamente fuertes pero livianos, tales como polímeros no reforzados y reforzados, fibra de vidrio continua o compuestos de fibra de carbono, para varias partes del arma de fuego fabricadas comúnmente de acero, aluminio u otros metales. La atención se ha centrado en los cañones de las armas de fuego, que constituyen un gran porcentaje del peso de un arma de fuego. Se conoce, por ejemplo, la fabricación de un cañón de arma de fuego que tiene un revestimiento interior de acero rodeado por una cubierta exterior compuesta de matriz polimérica (PMC) reforzada con fibra de carbono, que incorpora una resina. Esta combinación aligera el arma de fuego mientras que conserva una buena resistencia y rigidez del cañón.

Las fibras de carbono usadas en la cubierta exterior de PMC pueden ser de cualquier tipo que proporcione la rigidez, resistencia y conductividad térmica deseadas. Típicamente, para aplicaciones de cañón de arma de fuego de PMC, se usan fibras de carbono precursoras de poliacrilonitrilo ("PAN") o precursoras de brea. La fibra de carbono puede aplicarse como hebras o cables de fibra de carbono seco que se combinan con una resina en un proceso de inmersión "húmeda", luego se enrollan alrededor del revestimiento interior. Alternativamente, la cubierta puede construirse a partir de cable de fibra de carbono, cinta o tela unidireccional que previamente se impregnó con resina en un proceso separado ("towpreg" o "preg"), luego se aplicó al revestimiento interior. Si se aplica en húmedo o en seco, la resina de matriz es típicamente un epoxi. El cañón compuesto luego puede curarse, terminarse y unirse a un receptor y una culata. Tales compuestos de matriz de fibra de carbono/resina epoxi pueden proporcionar un equilibrio adecuado de propiedades térmicas, propiedades mecánicas y características de procesamiento para muchas aplicaciones comunes de armas de fuego.

Sin embargo, cuando un cañón compuesto se somete a fuego alto debido a un disparo rápido o prolongado, usualmente son menos duraderos que los cañones de acero sólido. Las temperaturas dentro del cañón de un fusil semiautomático o automático, por ejemplo, pueden superar fácilmente los 260 °C (500 °F) y pueden superar los 371 °C (700 °F) o más. Las armas de fuego fabricadas con cañones fabricados completamente de acero y materiales similares son duraderas y tienen características de transferencia de calor lo suficientemente altas como para disipar el calor lo suficientemente rápido como para adaptarse a tales aplicaciones de disparo y todavía funcionar aceptablemente. Las cubiertas compuestas del cañón del arma de fuego existentes tienen una conductividad térmica más baja en la dirección radial que el acero, de manera que el material compuesto actúa efectivamente como un aislante térmico. Los tipos de acero que se usan típicamente en los cañones de las armas de fuego tienen una conductividad térmica de aproximadamente 20-40 vatios/metro-Kelvin (20-40 W/m·K). Un compuesto epoxi de fibra de carbono PAN típico tiene una conductividad térmica de solo aproximadamente 0,5 W/m·K en la dirección "a través del grosor" o dirección radial en una aplicación de cañón de arma de fuego. Los valores típicos para "en el plano" (la dirección de la fibra) para estos compuestos está en el orden de solo 1-5 W/m·K. Como se describe a continuación, los materiales de PMC también se degradan a temperaturas más bajas que el acero.

El documento US 6,889,464 (Degerness) describió un cañón de arma de fuego que comprende un revestimiento interior de acero enrollado helicoidalmente con filamentos de fibra de carbono, o cables, dibujado a través de una mezcla de resina epoxi húmeda en un proceso de baño de inmersión. Degerness agregó material térmicamente conductor a la resina epoxi que comprende fibras de carbono de brea cortada/molida, disponibles comercialmente como Thermalgraph®. El cañón curado exhibió una conductividad térmica significativamente mayor y una mejor disipación del calor desde el cañón interno a través de la PMC a la atmósfera ambiental. Sin embargo, incluso con la adición de brea de carbono cortado térmicamente conductor, disparar rápidamente un arma de fuego equipada con un cañón compuesto de fibra de carbono puede hacer que las temperaturas del cañón excedan significativamente la capacidad de uso de la temperatura de las resinas epoxi. A medida que el cañón se calienta debido a un disparo prolongado, puede exceder la temperatura de transición vítrea, T_g , de la mezcla de resina a base de epoxi curada. En la T_g , la PMC se ablanda significativamente y la integridad mecánica del cañón compuesto se ve comprometida. A medida que el cañón se calienta a temperaturas aún más altas, se produce una descomposición térmica irreversible de la matriz epóxica curada y la integridad estructural del cañón se ve comprometida aún más. Las resinas epoxi que tienen características de procesamiento convenientes y propiedades térmicas y mecánicas curadas típicamente exhiben una temperatura de transición vítrea en el intervalo de 60-204 °C (140-400 °F), y típicamente exhiben la descomposición térmica a temperaturas superiores a 260 °C (500 °F).

Otro cañón de arma de fuego se describe en el documento US2011/173864.

Otros cañones de armas de fuego se describen en los documentos US3517585 y US2847786.

Teóricamente, debería ser posible mejorar la conductividad térmica en la PMC y retardar la acumulación de calor al aumentar la proporción de Thermalgraph o de otro(s) material(es) térmicamente conductor(es) en la mezcla de resina, tales como grafeno, grafito, nanotubos de carbón, partículas cerámicas o partículas de metal. Las características deseables para un aditivo térmicamente conductor son una alta conductividad térmica, baja densidad y un tamaño adecuado y distribución de tamaño para ocupar los espacios entre las fibras de refuerzo. Sin embargo, debido a que todos estos aditivos térmicamente conductores tienden a aumentar fuertemente la viscosidad de la resina, las concentraciones más altas del aditivo térmicamente conductor hacen que la mezcla de resina sea más viscosa, lo que inhibe el recubrimiento completo del cable de fibra de carbono con resina y hace que la fabricación sea más difícil y menos consistente. Adicionalmente, las altas cargas de aditivos conductores generalmente disminuyen las propiedades mecánicas (por ejemplo, la resistencia) del compuesto.

Existen otras resinas que tienen temperaturas de transición vítrea más altas que el epoxi, pero generalmente son más difíciles de procesar y fabricar artículos de PMC y son significativamente más costosas que los epoxis. Se conoce que las resinas que tienen química de poliimida tienen temperaturas de transición vítrea significativamente más altas, mejor conductividad térmica y estabilidad térmica mejorada en comparación con las resinas epoxi. Aunque las resinas de poliimida curadas tienen un rendimiento térmico superior en comparación con las resinas epoxi, muchas tienen una toxicidad relativamente alta de los solventes y monómeros usados en su fabricación. En general, la clase termoestable de resinas de poliimida que comprenden monómeros reactivos en un solvente se conocen como "Reactivo de monómero polimerizable" o poliimidias PMR. Una resina de poliimida de más baja toxicidad reivindicada se describió en US 5,171,822 (Pater) "Low Toxicity High Temperature PMR Polyimide," y está disponible comercialmente bajo el nombre RP46. Sin embargo, la resina RP46, a una concentración de sólidos suficientemente alta para la fabricación de PMC es semisólida a temperatura ambiente; su alta viscosidad hace que sea muy difícil trabajar con cables de filamentos de fibra de devanado "mojado". Una resina de poliimida PMR que tiene una temperatura de transición vítrea más alta que el epoxi y características de procesamiento útiles se describió en U.S. 6,889,464 (Lincoln). Una resina que incorpora la química Lincoln se fabrica por Performance Polymer Solutions, Inc., 2711 Lance Drive, Moraine, Ohio 45409, bajo el nombre P²SI® 635LM. La resina P²SI 635LM tiene una temperatura de transición vítrea adecuadamente alta de 335 °C (635 °F), pero también es significativamente más viscosa a temperatura ambiente que las resinas epoxi de devanado de filamentos húmedo típicas, lo que aparentemente impide su uso en aplicaciones de devanado de filamentos, tal como cuando se intenta enrollar cables de fibra infundidos con resina en múltiples capas sobre un revestimiento interior de un cañón de arma de fuego.

Otro obstáculo para usar resinas de poliimida tal como la resina P²SI® 635LM en aplicaciones de devanado de filamentos se relaciona con las dificultades de procesamiento para curar un cañón recién enrollado. Al curar el cañón enrollado compuesto de matriz de poliimida con fibra de carbono enrollado que comprende una resina de poliimida solvatada, se liberan compuestos volátiles en la resina. Al curar paneles de radio grande o plano, estos gases migran más fácilmente a la superficie o bordes del panel, lo que facilita la producción de un artículo compuesto sustancialmente libre de vacíos no deseados. Sin embargo, cuando se cura un cañón de arma de fuego enrollado que tiene inherentemente "bordes" de partes mínimas, ha resultado difícil eliminar los productos volátiles y los gases, debido a que tienden a quedar atrapados entre los devanados de filamentos continuos. A diferencia del curado de un panel que tiene grandes superficies planas, la trayectoria de migración para los gases volátiles liberados desde un cañón de arma de fuego de compuesto de resina de poliimida recién enrollado es en dirección radial hacia fuera a través del grosor del compuesto (con cierta migración longitudinal). Este problema se agrava cuando se usan resinas de poliimida de mayor viscosidad. A pesar de las ventajas de usar una resina de poliimida para envolver un cilindro delgado tal como un cañón de arma de fuego de pequeño calibre, el uso de resinas de poliimida para las PMC, incluso con técnicas alternativas de fabricación de compuestos tales como prepreg, towpreg e infusión de transferencia de resina, se ha limitado sustancialmente a láminas o paneles de fibra de carbono de radio plano o relativamente grande.

Otra clase de resina que tiene una temperatura de transición vítrea relativamente alta es la polieteretercetona (PEEK). PEEK es significativamente más cara que los epoxis. Además, la temperatura de transición vítrea de PEEK es solo de aproximadamente 143 °C (290 °F), con formulaciones de temperaturas más altas (incluso más costosas) que muestran una transición vítrea a aproximadamente 157 °C (315 °F). Estas temperaturas de transición vítrea son aún más bajas de lo conveniente en un arma de fuego rápido. PEEK también es un material termoplástico, lo que significa que es un polímero de alto peso molecular. Se procesa en estado fundido a una temperatura muy por encima de su T_g (típicamente a 371 °C (~700 °F)) para lograr el flujo y la consolidación, por lo tanto, se aplica en caliente y se enfría a un estado estructural rígido. Los epoxis típicos y las poliimidias PMR, por otra parte, son materiales termoestables, lo que significa que se aplican típicamente como resinas monoméricas de baja viscosidad a temperatura ambiente o casi temperatura ambiente y se curan posteriormente durante un período de tiempo, a menudo en condiciones de temperatura y/o presión elevadas para formar un material estructural de alto peso molecular densamente reticulado. Las resinas termoplásticas tal como PEEK requieren técnicas y equipos de fabricación muy diferentes a las resinas termoestables.

La conducción térmica dentro de la PMC tiende a verse fuertemente afectada por la orientación de la fibra, que es más alta en la dirección longitudinal de un filamento que en la transversal. En dependencia de la fibra de carbono específica que se use, la conductividad térmica de una fibra PAN, por ejemplo, podría ser mayor que la de acero (alrededor de 20-40 W/m·K) en la dirección longitudinal, pero inferior a 10 W/m·K en la dirección transversal o radial. La resina entre las fibras en la PMC curada es incluso menos térmicamente conductora que la conductividad térmica transversal de las fibras. Cuando se usa una PMC como cubierta exterior para un cañón, es difícil resolver el problema del calor debido a que la

mayor parte del calor debe conducirse radialmente hacia la superficie exterior del cañón y la atmósfera ambiental, a través de la cubierta compuesta, que requiere transferencia de calor a través de la resina y de manera transversal a través de fibras individuales.

5 La conductividad térmica se ve afectada no solo por el tipo de resina, fibras y cualquier aditivo(s) y sus proporciones relativas, sino también por el tamaño de las fibras y el tamaño de las partículas aditivas. Por ejemplo, una fibra de carbono PAN individual típica podría tener un diámetro entre aproximadamente 5 y 10 micras. Un cable de filamento de fibra de carbono comprende una pluralidad de fibras, con un cable usado típicamente para una aplicación de cañón de arma de fuego que tiene alrededor de 6 000 a 24 000 fibras individuales. Después de que se enrolle el cable de fibra de carbono recubierto con resina alrededor del cañón y se cure, la resina unirá todas las fibras de refuerzo continuas para proporcionar integridad mecánica y durabilidad. Idealmente, la resina curada rellenará esencialmente todo el espacio entre las fibras de carbono individuales. El volumen o espacio entre las fibras de carbono individuales, denominado como "volumen o espacio desocupado", el "volumen entre fibras" o el "espacio intersticial" de manera intercambiable, por lo tanto, está ocupado idealmente por la resina curada en la PMC. En el nivel micro (es decir, la escala del diámetro de la fibra, aproximadamente 10 micras), los obstáculos significativos para transferir calor desde el cañón interno de acero caliente a través de la PMC son la conductividad térmica más baja de la resina entre las fibras, la resistencia a la transferencia de calor en la interfaz de matriz-fibra de polímero, y la resistencia a la transferencia de calor en la interfaz de partículas aditivas de polímero.

20 El efecto de la partícula de relleno térmicamente conductora sobre la viscosidad de la resina depende de muchos factores, tales como el tamaño, la distribución del tamaño, la forma y las interacciones de las partículas entre sí y con la resina. Idealmente, una presencia efectiva del aditivo térmicamente conductor se dispersaría uniformemente con la mezcla de resina en todo el espacio intersticial. Sin embargo, el espacio intersticial no es uniforme; el espacio puede variar, por ejemplo, de aproximadamente <1 micra a aproximadamente 50 micras. Por lo tanto, las cantidades efectivas de partículas de tamaño suficientemente pequeño para ocupar los espacios intersticiales más pequeños tenderán a hacer que la mezcla de resina sea demasiado viscosa, y pueden debilitar localmente la matriz si las partículas aditivas más pequeñas se "agrupan" en los espacios intersticiales más grandes. Por otra parte, si las partículas de material térmicamente conductoras tienen un tamaño demasiado grande, más grande que los espacios intersticiales disponibles, no cabrán en los espacios intersticiales más pequeños, desplazando por lo tanto las fibras de refuerzo continuas. Esto da como resultado una fracción de volumen de fibra compuesta más baja, propiedades mecánicas comprometidas y una conductividad térmica más baja en toda la PMC.

Lo que se necesita es una mezcla de resina PMC para la cubierta exterior de un cañón de arma de fuego compuesto que sea viable para la fabricación, que cuando se cura soporte altas temperaturas de funcionamiento y/o transfiera de manera más efectiva a la atmósfera ambiente el calor generado por el disparo rápido o prolongado de un arma de fuego, y que sea ligera, rígida y fuerte.

Breve resumen de la invención

40 De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un cañón para dirigir la trayectoria de un proyectil descargable de acuerdo con la reivindicación 1. El cañón incluye un revestimiento interior que define un orificio axial y una cubierta exterior que rodea y está en contacto directo con el revestimiento interior, dicha cubierta exterior se fabrica de una PMC que comprende una mezcla de resina y fibras. La cubierta exterior acomoda el funcionamiento a más altas temperaturas. De acuerdo con la invención, la conducción de calor a través de la PMC se facilita al incluir un aditivo térmicamente conductor en la mezcla de resina, que comprende partículas metálicas generalmente esféricas entre aproximadamente 0,1 micras y 10,0 micras de diámetro. En una modalidad, dicha mezcla de resina tiene una temperatura de transición vítrea completamente curada, T_g , mayor que 260 °C (500 °F).

50 Debe entenderse que la invención se puede poner en práctica con muchas marcas y modelos de cañones de proyectiles con una eficacia comparable, y en otras estructuras donde la fibra se combina con una resina y se enrolla o se construye de cualquier otra manera a lo largo de un eje alargado.

Breve descripción de las distintas vistas de los dibujos

55 Estas y otras características y ventajas de la presente invención se apreciarán más fácilmente cuando se consideren con relación a la siguiente descripción detallada y los dibujos adjuntos, en donde:

la Figura 1 ilustra un fusil equipado con un cañón compuesto;

60 la Figura 1A es un corte de una porción del cañón compuesto que se muestra en la Figura 1;

la Figura 2 ilustra un sistema de devanado del cable de resina;

la Figura 3 ilustra un sistema de devanado towpreg seco;

65 la Figura 4 es una ilustración en corte que muestra una modalidad de un cañón compuesto; y

la Figura 5 es una vista muy ampliada de un corte en sección a través de un compuesto de matriz polimérica ilustrativo.

Descripción detallada de la invención

5 Con referencia a las figuras, en donde los números similares indican partes iguales o correspondientes en todas las distintas vistas, la Figura 1 muestra un fusil de cerrojo 10 equipado con un receptor 12, culata, gatillo, cañón 14 y otros elementos familiares. En la modalidad mostrada, el cañón 14 se acopla de manera segura con el receptor 12 por medio de las roscas 16. En funcionamiento, un cartucho de municiones se inserta en el receptor. El cartucho tiene una porción de base que contiene una carga de pólvora y proyectil descargable, *es decir*, una bala. Cuando un tirador tira del gatillo, un percutor golpea la base del cartucho, enciende la carga de pólvora y hace que la bala se descargue a través del orificio axial 24 y salga de la boca 18.

15 Como se muestra en la Figura 1A, el cañón 14 se compone de un revestimiento interior 22 y una cubierta exterior 20. En una modalidad, el revestimiento interior 22 se fabrica de un metal, tal como una aleación de acero. Un revestimiento interior de metal, tal como el acero inoxidable, facilita la fabricación de crestas y ranuras estriadas a lo largo del orificio axial 24, así como también roscas en los extremos de la boca y/o culata del cañón. El revestimiento interior también puede ser un material no metálico, tal como un material cerámico o un material a base de polímero. La cubierta exterior 20 es un compuesto de matriz polimérica curada (PMC) compuesto por fibra de carbono y una mezcla de resina como se describe más detalladamente a continuación. El revestimiento interior 22 no necesita ser uniformemente cilíndrico. Por ejemplo, el revestimiento interior 22 puede expandirse radialmente en el extremo de la culata para acomodar el corte de las roscas 16 para su inserción en el receptor 12, para ahusarse hacia fuera en la boca 18, o incluir otras configuraciones en dependencia de las características deseadas del arma de fuego. La cubierta exterior 20 igualmente puede incluir elementos no cilíndricos o ser discontinua a todo lo largo del cañón 14.

25 La cubierta exterior 20 está en contacto directo con el revestimiento interior 22 en la interfaz 26. Puede ser conveniente promover la adhesión o inhibir la corrosión entre el revestimiento interior 22 y la cubierta exterior 20 de PMC en la interfaz 26. Para los propósitos de esta especificación y las reivindicaciones, "contacto directo" significa que la superficie exterior del revestimiento interior 22 en la interfaz 26 puede incluir un tratamiento superficial que se aplica antes de que la cubierta exterior 20 se fabrique sobre el revestimiento interior 22. Por ejemplo, una cubierta exterior de PMC 20 está en "contacto directo" con un revestimiento interior de acero 22 en la interfaz 26, incluso si la superficie del revestimiento de acero está galvanizada, anodizada o recubierta con un compuesto químico o una mezcla, tales como pintura, resina u otras sustancias.

35 La Figura 2 muestra un sistema de devanado del cable simplificado 30 útil para fabricar un cañón de arma de fuego de compuesto 14 que tiene una cubierta exterior de PMC 20. En una modalidad, la cubierta exterior 20 comprende filamento o cable de fibra continuo, 34, suministrado desde el carrete de cable 32. En otra modalidad (no se muestra), la fibra podría estar en forma de tela o tejido. Las fibras de carbono son típicamente ventajosas de usar para cañones de arma de fuego PMC debido a su alta rigidez, alta resistencia y baja densidad. El término "fibra de carbono" se usa para describir genéricamente las fibras de carbono y de grafito, independientemente de su proceso de fabricación o de sus materiales precursores, e incluye específicamente las fibras de carbono tanto precursoras de PAN como precursoras de brea. En una modalidad, el cable 34 es un cable de filamento de fibra de carbono PAN, tal como HexTow IM2A comercializado por Hexcel Corporation, Stamford Connecticut. Sin embargo, el cable 34 también podría ser una fibra de carbono de brea, tal como GRANOC CN-60-A2S, comercializado por Nippon Graphite Fiber Corporation, Tokio, Japón, o cualquier fibra adecuada para la fabricación de compuestos que incluye Kevlar, vidrio, cuarzo, cerámica, mineral, carbono, metal, grafito o hibridaciones de fibras formadas mediante la combinación de diferentes tipos de fibras para obtener características que no pueden obtenerse con una sola fibra de refuerzo.

50 El cable 34 se extrae del carrete de cable 32 bajo tensión al girar el revestimiento interior 22 que funciona como un mandril. El revestimiento interior 22 se coloca entre los mandriles 47 y gira alrededor del orificio axial 24. El revestimiento interior giratorio 22 tira del cable 34 a través de una mezcla de resina 36, que se sumerge alrededor de una serie de rodillos 38 inmersos en el baño de resina 35, con los rodillos 38 que ayudan a presionar la mezcla de resina 36 en el cable 34. Los expertos en la técnica apreciarán que existen múltiples maneras de aplicar resina al cable. En otra modalidad (no se muestra), el cable 34 podría extraerse a través de la superficie superior de un tambor giratorio semisumergido humedecido con resina.

60 El movimiento enérgico del cable 34 a través de la mezcla de resina 36 y alrededor de los rodillos 38 crea corrientes y turbulencias que ayudan a mantener los sólidos de resina y otras partículas en suspensión dentro de la mezcla de resina 36. Opcionalmente, puede utilizarse un agitador (no se muestra) colocado en el baño de resina 35 para facilitar la mezcla y viscosidad uniformes de la resina, el solvente y cualquier partícula agregada u otros materiales térmicamente conductores agregados como sólidos a la mezcla de resina 36. El agitador puede ser una paleta mecánica accionada por un motor, un sistema de recirculación de mezcla de resina accionado por una bomba, un agitador ultrasónico u otros medios para mantener sólidos y partículas en suspensión.

65 Después de que el filamento se impregna con la mezcla de resina 36, el exceso de mezcla de resina se retira del cable. El exceso de mezcla de resina puede eliminarse del cable por medio de rodillos de tensión 40 que tienen un ajuste de

espacio apropiado, raspadores (no se muestran), troqueles de tamaño apropiado (no se muestran) y/u otros medios conocidos en la técnica, individualmente o en combinación.

El cable infundido con resina 42 sale del baño de resina 35 y se extrae a través de un orificio de guía de filamentos 46 controlado por la estructura de guía de filamentos 44. Opcionalmente, uno o más elementos de calentamiento 48 pueden evaporar los volátiles de la primera etapa presentes en la mezcla de resina 36 después de que el cable infundido con resina 42 salga del baño de resina 35 por medio de una unidad de calor 48. Las unidades de calentamiento provocan la volatilización de algunos o incluso de la mayoría de cualquier solvente que esté presente en el cable infundido con resina 42. Los elementos de calentamiento 48 pueden colocarse en cualquier lugar en la trayectoria del cable infundido con resina 42, que incluye el calentamiento del propio revestimiento interior del mandril 22. Los elementos de calentamiento pueden ser calentadores radiantes, hornos/calentadores de tubo, calentadores de convección u otros medios para calentar el cable infundido con resina 42, que incluyen varios tipos de elementos de calentamiento en combinación.

Una vez que el exceso de la mezcla de resina 36 se retire mecánicamente y, opcionalmente, se somete a calentamiento, el cable infundido con resina 42 se enrolla alrededor del cañón interior en el patrón helicoidal deseado y hasta el diámetro deseado. La estructura de guía de filamentos 44 incluye un mecanismo para mover el orificio de guía de filamentos 46 en un movimiento lateral generalmente paralelo al orificio axial 24, guiando de esta manera el cable infundido con resina 42 hacia adelante y hacia atrás a lo largo del revestimiento interior giratorio 22, de manera que el cable infundido con resina 42 se aplica al revestimiento interior en un patrón de devanado helicoidal. El propio orificio de guía de filamentos 46 también puede girar o trasladarse con relación a la estructura de guía de filamento 44.

Se apreciará que si el revestimiento interior 22 gira a una velocidad constante, el movimiento lateral más rápido de la estructura de guiado del filamento 44 dará como resultado un patrón de devanado helicoidal del cable infundido con resina 42 caracterizado por ángulos de devanado más pequeños con relación al orificio axial 24. A una velocidad lateral rápida, el ángulo de devanado helicoidal del cable infundido con resina será pequeño, casi longitudinal con relación al orificio axial 24. Por el contrario, un movimiento lateral más lento de la estructura de guiado del filamento 44 dará como resultado ángulos de devanado helicoidales más grandes con respecto al orificio axial 24. A velocidades laterales muy lentas, los ángulos de devanado del cable infundido con resina 42 pueden ser aros casi circunferenciales, casi 90 grados. Para los propósitos de las reivindicaciones y esta especificación, tales aros casi circunferenciales son, sin embargo, "helicoidales". El sistema de devanado del cable 30 puede controlarse por un procesador de computadora, de manera que la velocidad de rotación del revestimiento interior 22, el movimiento lateral de la estructura de guía de filamento 44, los movimientos del orificio de guía de filamento 46, la tensión aplicada al cable 34 y otros aspectos pueden ser programados por un usuario para producir patrones deseados y secuencias de ángulos de devanado, número de capas y profundidades de las capas. Tales sistemas se comercializan por, por ejemplo, McLean Anderson, 300 Ross Avenue, Schofield, Wisconsin 54476.

En una modalidad preferida, la mezcla de resina 36 comprende una resina de poliimida PMR termoestable. Sin embargo, las resinas de poliimida disponibles en la actualidad son demasiado viscosas a temperatura ambiente, sin adición de solvente en exceso, para recubrir el cable 34 satisfactoriamente. Además, los sólidos de resina u otros componentes tales como partículas pueden separarse dentro de la mezcla de resina 36. Por lo tanto, se requieren medidas adicionales, tal como calentar o solvatar la mezcla de resina 36, para reducir la viscosidad y garantizar una impregnación satisfactoria del cable 34.

El baño de resina 35 puede configurarse para calentar la mezcla de resina 36 mediante el uso de técnicas conocidas por los expertos en la técnica, tal como hacer circular un fluido caliente, tal como agua, a través de una camisa que rodea el baño de resina 35, o aplicar elementos de calentamiento al fondo o lados del baño de resina 35, o mediante una bobina de calentamiento sumergida en la mezcla de resina 36. La mezcla de resina 36 que comprende una resina de poliimida termoestable se puede calentar hasta aproximadamente 93 °C (200 °F), la temperatura precisa que depende de las características de la resina y la volatilidad del solvente utilizado, con temperaturas algo más bajas preferidas. Las temperaturas más altas hacen que la mezcla de resina 36 sea menos viscosa, lo que permite una mejor impregnación y un devanado más uniforme, pero acelera la pérdida de solvente y puede acelerar las reacciones de curado prematuro en la resina de poliimida (*por ejemplo*, imidización) reduciendo de esta manera la "vida útil" de la resina.

La mezcla de resina 36 comprende preferentemente un solvente. Se pueden utilizar muchos solventes para hacer que la resina de poliimida sea menos viscosa, que incluyen alcoholes, solventes apróticos y sus mezclas. La resina de poliimida PMR incluirá típicamente un correactivo de alcohol que actúa como un solvente. Un solvente que tiene un punto de ebullición más bajo (*es decir*, una mayor volatilidad) es generalmente más conveniente debido a que se puede expulsar más fácilmente del cable infundido con resina 42 con unidades de calentamiento tal como una unidad de calor 48. El metanol y el etanol son los solventes preferidos. Los inventores han determinado que calentar la mezcla de resina de poliimida PMR P²SI 635LM 36 a aproximadamente 40 °C a 60 °C en el baño de resina 35, y agregar solvente de metanol para reducir la viscosidad de la mezcla de resina 36 a aproximadamente 1000 cP, produce una buena impregnación de la resina y operaciones de devanado de filamento uniformes. Es posible lograr una viscosidad más baja y mejores características de manejo al agregar más solvente. Sin embargo, demasiado solvente dará como resultado sólidos de resina insuficientes en la mezcla de resina 36 para impregnar adecuadamente una fibra de carbono 34 con resina. El uso de una temperatura demasiado alta para reducir la viscosidad de la resina da como resultado reacciones secundarias indeseables que reducen las propiedades térmicas y mecánicas curadas de la matriz polimérica de poliimida.

Un solvente tal como metanol en la mezcla de resina 36 tiene un punto de ebullición más bajo que la resina de poliimida. Es conveniente evaporar mucho o la mayor parte del solvente en el cable infundido con resina 42 antes de que se recubra por los devanados posteriores del cable. Como se describió anteriormente, los medios de calentamiento pueden incluir uno o más calentadores radiantes 48, calentadores de tubos, calentadores de convección, calor de conducción que se origina a partir de un mandril calentado, u otros medios de calentamiento. En una modalidad, un calentador de tubo rodea el cable infundido con resina 42 y sopla aire calentado a aproximadamente 149 °C (300 °F) a lo largo del cable, dirigido de nuevo hacia el baño de resina 35, y un calentador radiante dirige el calor al girar el revestimiento interior 22.

En lugar de arrastrar un cable a través de una resina húmeda, una fibra towpreg seca (*es decir*, que se ha recubierto y/o impregnado previamente con una resina que tiene una alta temperatura de transición vítrea puede envolverse en el revestimiento interior giratorio 22 y luego curarse en seco con calor y/o presión. El towpreg imidizado se puede fabricar procesando primero una resina de poliimida a un estado parcialmente curado de la siguiente manera. Una resina de poliimida monomérica polimerizable se calienta a aproximadamente 149-260 °C (300-500 °F) entre aproximadamente 30 minutos a cuatro horas para imidizar la resina de manera que se formen oligómeros, que tienen tapas terminales reactivas. Preferentemente, el calor se saca y la resina se enfría antes de que los agentes de terminación y protección funcionales de los oligómeros comiencen a reaccionar y reticular de manera significativa. La resina de poliimida imidizada, que ahora está en forma sólida, puede molerse en un polvo fino. Este polvo puede luego recubrirse electrostáticamente en una fibra o cinta dividida, y luego opcionalmente fundirse térmicamente a la fibra o cinta antes de volverse a enrollar.

La Figura 3 muestra un sistema de devanado towpreg similar al sistema de devanado del cable de la Figura 2. Un carrete de fibra 32 lleva un suministro de towpreg parcialmente curado 37 preparado como se describió inmediatamente arriba. En lugar de un baño de resina, el towpreg se calienta antes de y/o durante la aplicación al revestimiento interior giratorio 22 para ablandar la resina de poliimida parcialmente curada previamente incorporada en el towpreg 37, lo que permite por lo tanto que fluya y facilite la consolidación. La Figura 3 muestra varias variantes de posibles técnicas de calentamiento, que incluyen un calentador de tubo 39 y los calentadores radiantes 41. Otras fuentes de calor incluyen calentadores infrarrojos, chorros de aire caliente y calentamiento por láser. Tanto el towpreg como el revestimiento interior giratorio 22 pueden calentarse por encima del punto de fusión del polímero para lograr una fusión/contacto de fusión entre el towpreg y el revestimiento interior. El revestimiento interior giratorio 22 puede calentarse, por ejemplo, mediante un calentador radiante 41 y/o mediante un calentador de cartucho (no se muestra) colocado dentro del orificio axial 24. Cualquiera de los tipos de calentadores anteriores, solos o en combinación, pueden usarse para calentar el towpreg y/o el revestimiento interior de manera que el towpreg logre un buen contacto de fusión con el revestimiento interior. El towpreg ablandado y calentado 43 se enrolla alrededor del revestimiento interior 22 de manera similar a la descrita para el sistema de devanado del cable de resina húmeda descrito anteriormente.

La Figura 4 muestra un cañón ilustrativo 14 producido por el sistema de devanado descrito, que comprende una cubierta exterior de PMC 20 progresivamente cortada para revelar una pluralidad de capas de devanado creadas por el cable infundido con resina devanado 42 (o towpreg calentado 43) alrededor del revestimiento interior 22. En la modalidad ilustrada, cada capa de devanado tiene un ángulo de envoltura helicoidal diferente. La primera capa 50 tiene un primer ángulo de envoltura 58, la segunda capa 52 tiene un segundo ángulo de envoltura 60 y la tercera capa 54 tiene un tercer ángulo de envoltura 62. La cantidad de capas puede ser cualquier cantidad, y los ángulos de devanado y la profundidad de cada capa igualmente pueden variar.

En otra modalidad, la mezcla de resina 36 (o el towpreg parcialmente curado en seco 37) comprende además partículas de un aditivo térmicamente conductor. Debido a su combinación de densidad relativamente baja, mayor conductividad térmica, costo y otros atributos superiores dentro de la PMC curada, el metal es un material aditivo térmicamente conductor preferido, y con mayor preferencia de aluminio.

Como se indicó anteriormente, agregar cantidades significativas de aditivo térmicamente conductor aumenta adversamente la viscosidad de la mezcla de resina 36. Por ejemplo, las plaquetas de grafeno exhiben una excelente conductividad térmica, pero tienden a hacer que la mezcla de resina sea inaceptablemente viscosa. Las plaquetas de grafeno pueden tener un área (dimensión X-Y) entre 1 y 50 micrómetros (μm) pero un grosor de solo aproximadamente 50-100 nanómetros (nm), lo que produce una relación de aspecto que se aproxima a 1000:1. Las partículas que tienen tales relaciones de aspecto elevadas exacerban los problemas de viscosidad que afectan a las resinas de poliimida descritas anteriormente. Los inventores han determinado que, en lugar de centrarse en materiales aditivos que tienen la mejor conductividad térmica, un enfoque alternativo es emplear un material que permita la maximización del volumen de aditivo en comparación con el área superficial aditiva. Este enfoque sugiere que las partículas aditivas deben ser aproximadamente esféricas.

En una modalidad, las partículas aditivas son metálicas y tienen forma generalmente esférica. Las esferas metálicas comprenden aproximadamente 0,2 % a 50 % en peso de la mezcla de resina 36 (aproximadamente 0,1 % a 25 % en volumen). En otra modalidad, las partículas aditivas ellas mismas se componen por dos o más tamaños para aumentar más eficazmente la conductividad térmica del compuesto con un efecto mínimo sobre las características de procesamiento. Tener al menos dos tamaños de partículas térmicamente conductoras en la mezcla de resina 36 mejora la compactación de partículas dentro de los espacios intersticiales con menos impacto en la viscosidad de la resina y, por consiguiente, mejora las características de transferencia de calor mientras se mantiene la viscosidad manejable.

La Figura 5 muestra una vista en sección transversal muy ampliada de una modalidad de un compuesto de matriz polimérica curada 70. El compuesto de matriz polimérica 70 podría producirse mediante resina de devanado húmedo o mediante el devanado de la resina parcialmente curada aplicada previamente al towpreg. La Figura 5 muestra extremos cortados de hebras/filamentos de fibras individuales 72 dispuestos generalmente paralelos entre sí y rodeados por resina curada 74. La resina 74 ocupa los espacios entre las hebras de fibra 72. Las hebras de fibras individuales son generalmente paralelas y tienen un diámetro de aproximadamente 3 a 15 micras (μm). Los espacios intersticiales pueden variar de aproximadamente 1 micra a aproximadamente 50 micras. En una modalidad, una variedad de tamaños de partículas aditivas térmicamente conductoras, preferentemente partículas metálicas esféricas, se distribuyen en los espacios intersticiales dentro de la resina 74 y las hebras de fibra 72 y en los espacios intersticiales dentro de la resina 74.

En la modalidad mostrada, las hebras de fibra 72 tienen aproximadamente 7 μm de diámetro y el aditivo térmicamente conductor comprende tres tamaños de partículas de aluminio aproximadamente esféricas, las partículas más pequeñas 76 tienen un diámetro de aproximadamente de 0,1 - 1 μm , y las partículas medianas 78 tienen un diámetro de aproximadamente 1-3 μm , y las partículas grandes 80 tienen un diámetro de aproximadamente 3-4 μm . Estos tamaños de partícula pueden variar en dependencia de, por ejemplo, el tamaño de las fibras. Por ejemplo, las partículas más grandes podrían medir 10 μm . La mayoría de los aditivos consisten en pequeñas partículas 76 y partículas medianas 78; una fracción significativamente más pequeña es de partículas grandes 80. Al formular y distribuir el aditivo térmicamente conductor de esta manera, muchas de las partículas estarán muy cerca o incluso se tocan entre sí, y preferentemente en las proximidades cercanas y/o tocando los cables de fibra adyacentes 72, con las partículas más grandes que tienden a ocupar los espacios intersticiales más grandes y las partículas más pequeñas que ocupan los huecos más pequeños, cuyos huecos fueron ocupados anteriormente por el solvente o la fracción volátil de la mezcla de resina 36 que se volatilizó en el proceso de curado. Las partículas aditivas térmicamente conductoras tienen una conductividad térmica más alta que la resina 74, lo que hace de esta manera que la PMC sea más conductora térmicamente. En promedio, la pluralidad de tamaños de esferas aditivas térmicamente conductoras ocupa una fracción de volumen mayor del espacio intersticial de cualquier otra manera presente en la PMC, lo que conduce a una mayor conductividad térmica de la cubierta exterior 20.

Después de devanar el cable de resina húmeda 42 o el towpreg calentado 43, el cañón compuesto 14 se retira de los mandriles 47 y se somete a calor y/o presión para curar completamente la resina de poliimida termoestable. Para los sistemas de resina húmeda, en dependencia de la cantidad de volátiles presentes antes de comenzar el proceso de curado, un curado completo podría requerir eliminar aproximadamente 15 % de la masa de la estructura de PMC recién enrollada. En general, es mejor eliminar los volátiles antes en el proceso de curado para minimizar la formación de vacíos en la matriz.

Independientemente de si el cable se enrolla en el revestimiento interior 22 húmedo o seco, es más difícil curar las estructuras que incorporan resinas de poliimida que las resinas comunes basadas en epoxi. Particularmente en aplicaciones de resina húmeda, es difícil eliminar los volátiles de la matriz de resina de fibra sin crear vacíos. Cuando se usa una resina de poliimida con paneles planos o de gran radio, el transporte volátil es más fácil debido a que los volátiles pueden escapar a los bordes abiertos de la superficie y/o migrar más fácilmente entre las capas de tela. Sin embargo, en aplicaciones de devanado de filamentos, estos gases pueden quedar atrapados entre los devanados continuos.

Los vacíos en la PMC tienen los efectos indeseables de reducir la resistencia, la rigidez y la conductividad térmica. Los resultados satisfactorios son aún más difíciles de lograr cuando se cura un artículo producido por el devanado de filamentos, por el contrario, al curado de láminas de tela impregnadas planas. El revestimiento interior impermeable 22 obliga a los volátiles a migrar radialmente hacia fuera a través de una pluralidad de capas densamente enrolladas (con una porción mucho más pequeña de volátiles que migran a la culata y a la boca 18 del cañón 14). El problema del curado puede agravarse aún más cuando los aditivos térmicamente conductores están presentes en la mezcla de resina 36.

Una cubierta exterior curada 22 de acuerdo con una modalidad se produce al proporcionar primero un cañón recién enrollado que incorpora fibras de carbono PAN y una mezcla de resina 36 que comprende resina de poliimida P²SI 635LM y aproximadamente 40 % de concentración en peso de partículas de aluminio generalmente esféricas entre 1 y 5 micras. Tal mezcla de resina 36 tiene una temperatura de transición vítrea de aproximadamente 335 °C (635 °F) después del curado. Los cables de fibra húmeda 42 pasan a través de un calentador de tubo como se describió anteriormente y luego se enrollan alrededor de un revestimiento interior 22 mediante el uso del sistema de resina húmeda representado en la Figura 2 para generar una pluralidad de capas de devanado en una pluralidad de ángulos de devanado. El cañón recién enrollado se coloca luego en un horno o autoclave y se cura en una serie de etapas.

En una primera etapa, la temperatura en el autoclave se eleva gradualmente, de aproximadamente 5 a 10 horas, a aproximadamente 177 °C (350 °F). Para ayudar en el transporte de volátiles de la PMC, puede aplicarse vacío al cañón 14 durante esta etapa. En una segunda etapa, la temperatura del horno o autoclave se incrementa a aproximadamente 260-280 °C (500-536 °F) durante 2 a 8 horas para imidizar la solución de mezcla de resina de poliimida PMR para formar oligómeros que tienen tapas terminales reactivas. En esta etapa, todos los compuestos volátiles se eliminan esencialmente de la cubierta compuesta y los agentes de terminación y protección funcionales en los oligómeros pueden comenzar a reaccionar y reticularse. Durante esta segunda etapa de curado, se aplica una presión de entre 10 y 400 psi, preferentemente aproximadamente 200 psi, para facilitar la consolidación. En una tercera etapa, la temperatura dentro

5 del horno o autoclave se eleva aún más a aproximadamente 316-371 °C (600-700 °F), preferentemente durante al menos cuatro horas, para lograr un curado final, *es decir*, que se complete sustancialmente la reticulación de las poliimidizadas mediante la reacción de los agentes de terminación y protección y la estabilización de la matriz de la mezcla de fibra de carbono/resina. El tiempo total de curado dentro del horno o autoclave es preferentemente de 14-24 horas. El autoclave puede permanecer presurizado durante la segunda y tercera etapas.

10 Después del enfriamiento, el cañón curado 14 se coloca en un torno y se tritura hasta el diámetro de acabado deseado con una o más herramientas abrasivas, tal como las ruedas de amolar recubiertas con diamante y ruedas de pulir. Para los propósitos de las reivindicaciones y de esta especificación, "que rodea y está en contacto directo con el revestimiento interior" significa que la cubierta exterior 20 rodea y está en contacto directo con el revestimiento interior 22 a lo largo de al menos una porción de la longitud axial del cañón 14; las partes del revestimiento interior 22 pueden estar expuestas, por ejemplo, en la boca 18, las roscas 16 o cualquier otra(s) localización(es) deseada(s) en el cañón 14.

15 Las modalidades de PMC descritas anteriormente incluyen mezclas de resinas de poliimida termoestables que tienen una temperatura de transición vítrea superior a 260 °C (500 °F), lo que permite un funcionamiento más caliente del cañón 14. Tales resinas demuestran una estabilidad térmica superior en comparación con las mezclas de resinas basadas en epoxi, que típicamente experimentan una transición vítrea de aproximadamente 60-204 °C (140-400 °F) y tienen una estabilidad térmica relativamente más baja. La estructura del cañón 14 no solo es más capaz de soportar temperaturas más altas, sino que también un beneficio adicional es que la temperatura de operación más alta facilita la transferencia de calor desde el revestimiento metálico 22 a la atmósfera ambiental, debido a una diferencia de temperatura más alta entre la superficie exterior de la cubierta exterior 20 y la atmósfera.

20 La invención anterior se ha descrito de acuerdo con las normas legales relevantes, por lo tanto, la descripción es ilustrativa en lugar de limitante en su naturaleza. Las variaciones y modificaciones a la modalidad descrita pueden ser evidentes para los expertos en la técnica y caer dentro del alcance de la invención.

25

Reivindicaciones

1. Un cañón (14) para dirigir la trayectoria de un proyectil descargable, que comprende:
 un revestimiento interior (22) que define un orificio axial (24); y
 una cubierta exterior (20) que rodea y está en contacto directo con el revestimiento interior (22), dicha cubierta exterior (20) fabricada a partir de un compuesto de matriz polimérica (PMC), dicha PMC que comprende una mezcla de resina y fibras, caracterizado porque dicha mezcla de resina comprende partículas metálicas generalmente esféricas (76, 78, 80), dichas partículas metálicas que comprenden una pluralidad de tamaños entre aproximadamente 0,1 micras y 10,0 micras de diámetro.
2. El cañón de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dichas partículas metálicas son aluminio.
3. El cañón de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde la mezcla de resina comprende una resina de poliimida.
4. Un arma de fuego que comprende un receptor, una culata conectada al receptor y un cañón (14) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores conectada al receptor, en donde la mezcla de resina comprende una mezcla de resina de poliimida que tiene una temperatura de transición vítrea superior a 260 °C, las fibras comprenden cables de fibra de carbono enrollados helicoidalmente alrededor del revestimiento interior (22) en una pluralidad de capas, dicha pluralidad de capas incluye una pluralidad de ángulos de devanado con relación al orificio axial.
5. El arma de fuego de acuerdo con la reivindicación 4, en donde dicho revestimiento interior (22) comprende una aleación de acero.

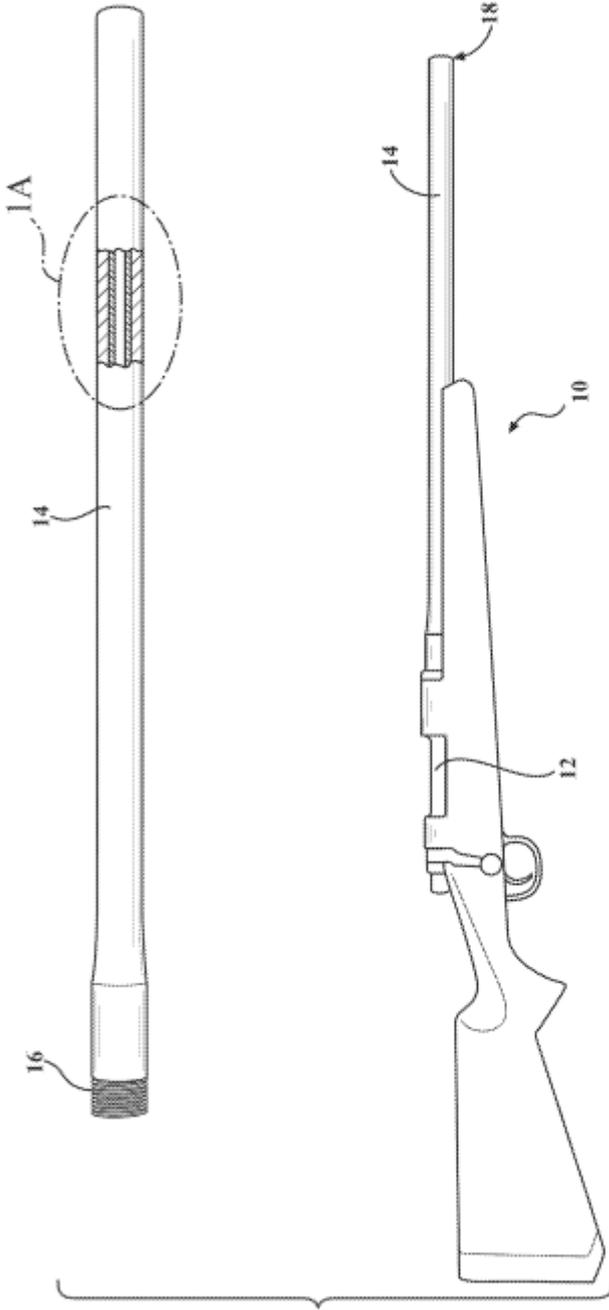


FIG. 1

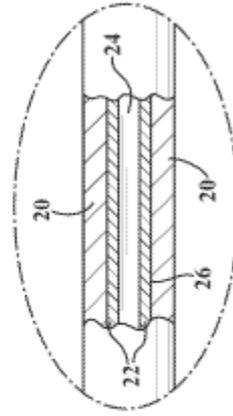


FIG. 1A

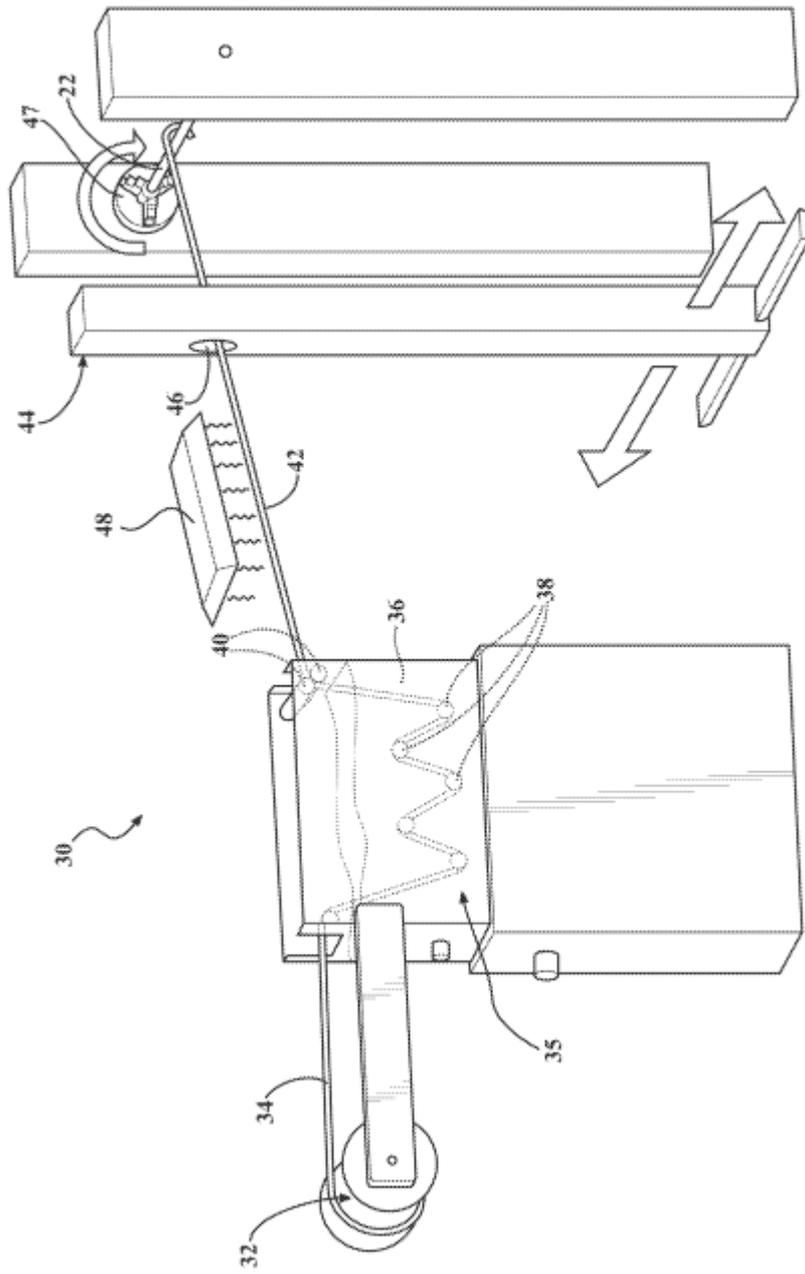


FIG. 2

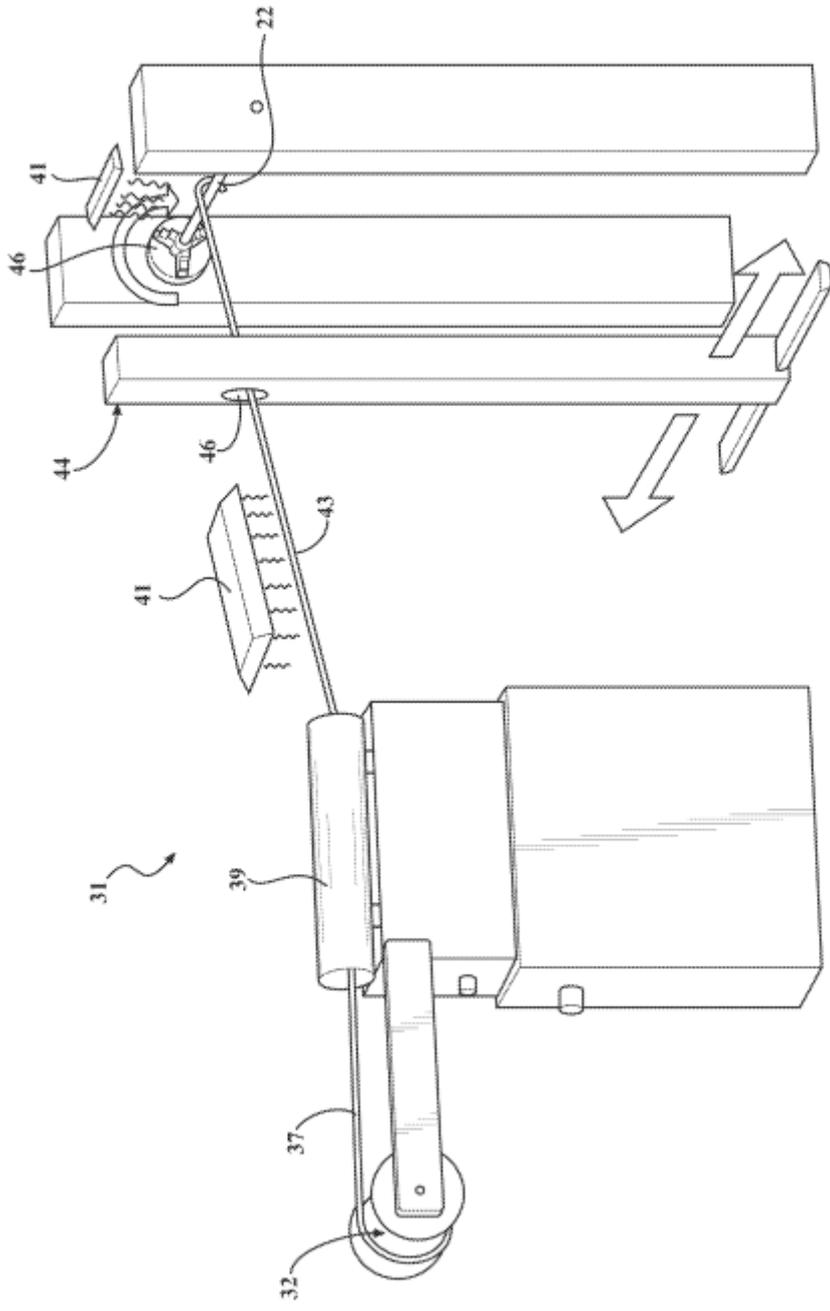


FIG. 3

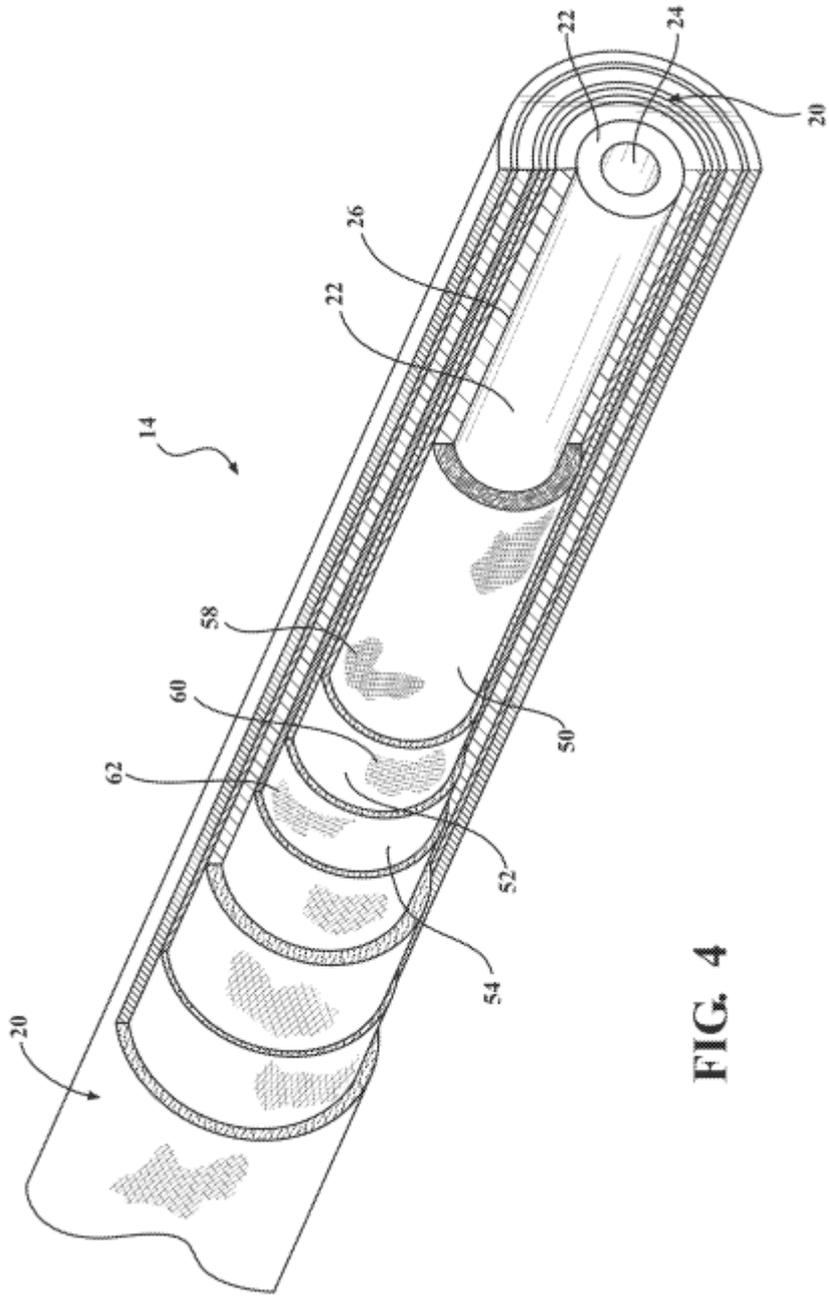


FIG. 4

