

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 693 770**

51 Int. Cl.:

**B22D 19/08** (2006.01)

**B22D 23/06** (2006.01)

**B32B 5/16** (2006.01)

**B32B 7/04** (2006.01)

**B32B 15/16** (2006.01)

**C22C 1/10** (2006.01)

**C22C 33/02** (2006.01)

**C22C 37/08** (2006.01)

**C22C 37/10** (2006.01)

**C22C 37/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.01.2013 PCT/US2013/023541**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.08.2013 WO13116183**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.01.2013 E 13743866 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.09.2018 EP 2809466**

54 Título: **Procedimiento de creación de un material resistente al desgaste**

30 Prioridad:

**31.01.2012 US 201261593091 P**

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

**13.12.2018**

73 Titular/es:

**ESCO GROUP LLC (100.0%)  
2141 NW 25th Avenue  
Portland, OR 97210-2578, US**

72 Inventor/es:

**BODDAPATI, SRINIVASARAO**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 693 770 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**

Procedimiento de creación de un material resistente al desgaste

5 CAMPO TÉCNICO

La presente invención globalmente se refiere a un procedimiento para la creación de un material resistente al desgaste y más específicamente a un procedimiento que utiliza técnicas de infiltración para formar el material resistente al desgaste y conectar el material a un sustrato por soldadura o soldadura con bronce.

10

ANTECEDENTES

Diversos tipos de equipo de excavación tienen puntas, bordes, superficies y otras piezas que están sometidas a impactos y tensiones repetidos, lo cual puede resultar en desgaste o fractura de tales piezas. De acuerdo con ello, los materiales que tienen una dureza y una resistencia al desgaste elevadas junto con una buena tenacidad son deseables para aplicaciones de este tipo. Los materiales con una dureza y resistencia al desgaste elevadas pueden ser útiles también en otras aplicaciones, incluyendo aplicaciones en las que se afrontan retos similares.

15

Una técnica común para producir piezas resistentes al desgaste es la fundición de la pieza mediante el vertido de un metal fundido (por ejemplo, hierro fundido) alrededor de un material duro, resistente al desgaste colocado en el molde para fijar el material resistente al desgaste a la pieza de metal fundido y crear un compuesto resistente al desgaste. Una desventaja importante de este procedimiento es que el sustrato sobre el cual se fija el material resistente al desgaste mediante este procedimiento está limitado a los materiales que son adecuados para la fundición. Adicionalmente, el material resistente al desgaste generalmente está limitado a unas gamas de fracciones en volumen de 5 - 50% y limitado a partículas mayores de 50 µm y las piezas generalmente están limitadas a grosores inferiores a 6,25 mm (0,250 pulgadas). Adicionalmente, este procedimiento requiere un sobrecalentamiento de la aleación fundida hasta aproximadamente de 200 °C a 400 °C, lo cual conduce a una disolución significativa de las partículas de carburo y degrada de ese modo las propiedades del compuesto resultante. Todavía adicionalmente, debido a que una fundición de este tipo se realiza en aire, existe la posibilidad de oxidación de ambas las partículas duras y la matriz de metal y los óxidos pueden quedar atrapados en el compuesto y degradan el comportamiento al desgaste y mecánico.

20

25

30

El documento US 6,073,518 describe una broca de barreno con una superficie protectora resistente al desgaste. Un sustrato se coloca en un molde creando un espacio entre el sustrato y el molde. El sustrato está formado a partir de polvo o partículas de acero sinterizado para formar un cuerpo poroso. Las partículas duras se colocan en el espacio adyacente al sustrato y una sustancia infiltrante se coloca por encima de las partículas duras. El molde se calienta de modo que la sustancia infiltrante fundida fluye en el interior de las partículas duras y en el interior del sustrato poroso para formar la broca y la superficie resistente al desgaste cuando la sustancia infiltrante solidifica. El documento US 2,833,638 presenta una técnica para piezas con un revestimiento con metal duro para ser soldadas al cuerpo de una broca de barreno. Cuerpos de carburo fracturados se limpian y se colocan en el molde refractario inerte. Un material aglutinante que comprende una aleación de cobre se añade y el molde se calienta de modo que la aleación de cobre se funde aglutinando los cuerpos de carburo fracturados.

35

40

Una técnica común para la producción de piezas resistentes al desgaste es la infiltración de aleaciones a partir de níquel, aleaciones a partir de cobre y/o hierro de fundición en el interior de una masa porosa de partículas tanto de carburo de tungsteno puro como carburo cementado. Sin embargo, las aleaciones a partir de níquel y de cobre son caras y el hierro de fundición no tiene una tenacidad que sea satisfactoria para todas las aplicaciones. El hierro dúctil representa un material mucho más económico que se puede fundir y que tiene una buena tenacidad en la fractura. Sin embargo, las condiciones empleadas para estas técnicas no son adecuadas para la infiltración de hierro dúctil. Además, las temperaturas de infiltración implicadas en estas técnicas son tan elevadas que tiene lugar una degradación significativa de las partículas duras. En el caso de la infiltración de hierro de fundición en carburos de fundición esféricos utilizando estas técnicas, las partículas de carburo originales se pueden desintegrar completamente. Como resultado de la interacción metalúrgica entre los metales aglutinantes fundidos con las partículas de carburo al descubierto, el tamaño de partícula para las técnicas de este tipo típicamente se tiene que mantener por encima de 1,14 mm (0,045 pulgadas), de modo que incluso después de la reacción existe todavía una fracción comparativamente insignificante de partícula dura que queda para proporcionar resistencia al desgaste.

45

50

55

De acuerdo con ello, mientras ciertos productos y procedimientos existentes proporcionan una serie de características ventajosas, sin embargo tienen ciertas limitaciones. La presente invención busca superar ciertas de estas limitaciones y otras desventajas de la técnica anterior y proporcionar nuevas características no disponibles hasta ahora.

60

## BREVE RESUMEN

Lo que sigue a continuación presenta un resumen general de aspectos de la invención a fin de proporcionar una comprensión básica de la invención. Este resumen no es una vista general extensiva de la invención. No se pretende identificar elementos clave o críticos de la invención o delinear el ámbito de la invención. En su aspecto más amplio la presente invención proporciona un procedimiento como se establece en la reivindicación 1 más adelante en este documento. Características opcionales siguen en las reivindicaciones subordinadas. El siguiente resumen meramente presenta algunos conceptos de la invención de una forma general como un preludio a la descripción más detallada proporcionada más adelante en este documento.

Aspectos de la presente invención se refieren a un procedimiento para utilizar en la formación de un recubrimiento compuesto resistente al desgaste sobre un sustrato. Un molde se coloca próximo a la superficie del sustrato, de tal modo que la superficie está en comunicación con una cavidad del molde y un material resistente al desgaste poroso se coloca en el interior de la cavidad en estrecha proximidad con la superficie. Un material de matriz metálico se coloca entonces en comunicación con la cavidad y el molde y el material de matriz se calienta a una temperatura por encima del punto de fusión del material de matriz. La temperatura se mantiene por encima del punto de fusión durante un tiempo suficiente para que el material de matriz se infiltre en el material resistente al desgaste en forma fundida y entre en contacto con la superficie del sustrato. Después de ello, el molde y el material de matriz se enfrían para solidificar el material de matriz y formar un recubrimiento compuesto resistente al desgaste que incluye el material resistente al desgaste incorporado en el interior del material de matriz en la superficie del sustrato. El material de matriz es hierro dúctil y el hierro dúctil puede tener una composición que incluya, en porcentaje en peso, aproximadamente 3,0 - 4,0 % de carbono, aproximadamente 1,8 - 2,8 % de silicio, aproximadamente 0,1 - 1,0% de manganeso, aproximadamente 0,01 - 0,03 % de azufre y aproximadamente 0,01 - 0,1 % de fósforo, con el resto siendo hierro y elementos incidentales e impurezas. Se comprenderá que otros elementos y adiciones se pueden incluir en el hierro dúctil, tales como níquel (hasta un 37% en peso), cromo (hasta un 5,5% en peso) y/o silicio (hasta un 5,5% en peso).

Según un aspecto, el material resistente al desgaste puede incluir uno o más materiales seleccionados a partir del grupo que consta de: carburos, nitruros, boruros, siliciuros, compuestos inter metálicos de metales de transición y combinaciones de los mismos. Ejemplos de carburos que pueden ser utilizados incluyen: WC, TiC, SiC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, VC, ZrC, NbC, TaC, (W, Ti)C, B<sub>4</sub>C, y Mo<sub>2</sub>C y combinaciones de los mismos. Ejemplos de nitruros que pueden ser utilizados incluyen: TiN, BN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, ZrN, VN, TaN, NbN, HfN, CrN, MoN, y WN y combinaciones de los mismos. Ejemplos de boruros que pueden ser utilizados incluyen: boruro de titanio, boruro de cromo, boruro de tungsteno, boruro de níquel, boruro de circonio, boruro de hafnio, boruro de tántalo, boruro de niobio, boruro de vanadio, boruro de molibdeno, boruro de silicio, boruro de aluminio y otros boruros de metales de transición y combinaciones de los mismos. Ejemplos de siliciuros que pueden ser utilizados incluyen siliciuros de metales de transición. El material resistente al desgaste puede tener adicionalmente un recubrimiento humectante compatible.

Según otro aspecto, el recubrimiento compuesto puede estar formado en una pluralidad de superficies del sustrato, o puede estar formado únicamente una parte de la superficie del sustrato.

Según un aspecto adicional, el material resistente al desgaste poroso puede estar en forma de material en partículas sueltas o en forma de una preforma porosa formada de material en partículas unidas juntas para formar la preforma porosa. El material en partículas en la preforma puede ser unido junto de diversos modos, tal como por sinterizado o por un material de polímero. Si se utiliza para la unión un material de polímero, el material se puede seleccionar de modo que la temperatura de la soldadura con bronce sea suficiente para extraer el material de polímero del material en partículas durante el calentamiento.

Según todavía otro aspecto, el molde puede ser o incluir una cáscara de plancha de metal conectada al sustrato para definir la cavidad. La cáscara puede tener un orificio hacia el exterior de la cáscara y el material resistente al desgaste poroso puede ser colocado en el interior de la cavidad mediante la inserción a través del orificio. Una cáscara de este tipo puede tener un grosor significativamente inferior que el grosor del sustrato y se suelda a la superficie exterior del sustrato.

Según todavía un aspecto adicional el calentamiento se realiza en el interior de una cámara de horno y la cámara puede estar bajo vacío (por ejemplo, 0,013 o 0,13 Pa hasta 1,3 Pa (0,0001 o 0,001 Torr hasta 0,010 Torr) o incluso una presión inferior) antes de que la temperatura alcance el punto de fusión del material de matriz. Un gas inerte se puede introducir en el interior de la cámara después de que se haya fundido el material de matriz. Alternativamente, la fusión se puede realizar en la presencia de un gas inerte, tal como mediante la introducción de gas argón en el interior de la cámara antes de que se haya fundido el material de matriz. En esta forma de realización, el molde tiene una parte permeable en contacto con el material resistente al desgaste poroso para permitir que el gas residual se escape de la parte permeable durante la infiltración.

Según un aspecto adicional, el material de matriz puede estar colocado por lo menos parcialmente lateralmente u horizontalmente en el material resistente al desgaste y el procedimiento adicionalmente puede incluir la colocación de un medio del desplazamiento (por ejemplo, un medio que pueda fluir tal como bolas cerámicas) adyacente al

material de matriz y opuesto al material resistente al desgaste. El medio de desplazamiento sostiene el material de matriz fundido y desplaza el material de matriz fundido a medida que el material de matriz fundido se infiltra en el material resistente al desgaste. Una barrera puede estar colocada adicionalmente entre el medio de desplazamiento y el material de matriz, para resistir la impregnación del material de matriz fundido en el interior del medio de desplazamiento. Un ejemplo de infiltración lateral es cuando el sustrato es una estructura tubular, de tal modo que el material de matriz fundido se infiltra lateralmente hacia fuera para formar el recubrimiento compuesto en la superficie interior de la estructura tubular. En esta configuración, el medio de desplazamiento se coloca en un centro de la estructura tubular y se desplaza hacia fuera a medida que el material de matriz fundido se infiltra en el material resistente al desgaste.

Aspectos adicionales de la invención se refieren a un sistema para utilizar en la formación de un recubrimiento compuesto resistente al desgaste en una superficie de un sustrato. El sistema puede incluir un molde colocado en la proximidad de la superficie del sustrato, de tal modo que la superficie esté en comunicación con la cavidad del molde, un material resistente al desgaste poroso en el interior de la cavidad, en estrecha proximidad con la superficie y un material de matriz metálico en comunicación con la cavidad. El sistema puede ser utilizable en conexión con un procedimiento según los aspectos descritos antes en este documento, tal como el calentamiento del molde y el material de matriz a una temperatura por encima de un punto de fusión del material de matriz y mantener la temperatura durante un tiempo suficiente para que el material de matriz se infiltre en el material resistente al desgaste en forma fundida y entre en contacto con la superficie del sustrato y entonces enfriar el molde y el material de matriz para solidificar el material de matriz y formar un recubrimiento compuesto resistente al desgaste en la superficie del sustrato. Como se ha descrito antes en este documento, el material de matriz es hierro dúctil.

Según un aspecto, el material resistente al desgaste puede incluir uno o más materiales seleccionados a partir del grupo que consta de: carburos, nitruros, boruros, siliciuros, compuestos inter metálicos de metales de transición y combinaciones de los mismos, incluyendo los materiales descritos antes en este documento.

Según otro aspecto, el material resistente al desgaste poroso puede ser en forma de un material en partículas sueltas o en forma de una preforma porosa formada de material de partículas unidas juntas para formar la preforma porosa como ha sido descrito antes en este documento.

Aspectos adicionales de la invención se refieren a un artículo de fabricación, el cual puede ser fabricado según un sistema y/o procedimiento según los aspectos descritos antes en este documento o mediante otros sistemas y/o procedimientos. El artículo incluye un sustrato metálico que tiene una superficie con un recubrimiento compuesto resistente al desgaste unido a la superficie. El recubrimiento compuesto resistente al desgaste incluye un material en partículas resistente al desgaste, así como un material de matriz metálico unido junto con el material en partículas resistente al desgaste. El recubrimiento puede ser un recubrimiento continuo. El material de matriz está adicionalmente unido a la superficie del sustrato para unir el recubrimiento compuesto resistente al desgaste al sustrato. El material de matriz metálico puede ser hierro dúctil, el cual puede tener una composición como ha sido descrito antes en este documento. El procedimiento puede ser utilizado para hacer recubrimientos que tengan un grosor de por lo menos 0,127 mm (0,005 pulgadas) y típicamente mayores que 1,0 mm (0,040 pulgadas). El procedimiento puede conseguir distancias de infiltración de hasta 152 mm (6 pulgadas) o más, o hasta 190 mm (7,5 pulgadas) o más en algunas formas de realización y por lo tanto puede ser utilizado para fabricar recubrimientos que tengan un grosor mayor que el propio sustrato tal como hasta 152 mm (6 pulgadas) o más, hasta 190 mm (7,5) o más, o incluso grosores mayores en diversas formas de realización.

Según un aspecto, el material resistente al desgaste puede incluir uno o más materiales seleccionados a partir del grupo que consta de: carburos, nitruros, boruros, siliciuros, compuestos inter metálicos de metales de transición y combinaciones de los mismos incluyendo los ejemplos descritos antes en este documento.

Según otro aspecto, el sustrato tiene una pluralidad de protrusiones conectadas a la superficie y que se extienden hacia fuera desde la superficie. Las protrusiones están incorporadas en el interior del recubrimiento compuesto resistente al desgaste. Como un ejemplo, las protrusiones pueden ser una pluralidad de nervios o elementos de placa simétricamente distribuidos en la superficie exterior del sustrato.

Según un aspecto adicional, el artículo puede ser un elemento de desgaste para la excavación, la minería o bien otro equipo para el movimiento de tierras y el sustrato puede estar formado mediante una parte de trabajo del elemento de desgaste, de tal modo que el recubrimiento compuesto cubra la parte de trabajo.

Otras características y ventajas de la invención se pondrán de manifiesto a partir de la siguiente descripción tomada conjuntamente con los dibujos adjuntos.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para permitir una comprensión más completa de la presente invención, se describirá ahora a título de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos en los cuales:

- la figura 1 es una ilustración esquemática que representa un ejemplo de infiltración vertical desde encima para formar un material compuesto resistente al desgaste, según una forma de realización de la presente invención;
- 5 la figura 2 es una ilustración esquemática que representa un ejemplo de infiltración vertical desde debajo para formar un material compuesto resistente al desgaste, según una forma de realización de la presente invención;
- la figura 3 es una ilustración esquemática que representa un ejemplo de infiltración horizontal para formar un material compuesto resistente al desgaste, según una forma de realización de la presente invención;
- 10 la figura 4 es una ilustración esquemática que representa una forma de realización de un sistema y un procedimiento para la formación de un material compuesto resistente al desgaste sobre un sustrato utilizando infiltración vertical, antes de la infiltración, según aspectos de la presente invención;
- 15 la figura 5 es una ilustración esquemática que representa el sustrato provisto del material compuesto resistente al desgaste formado sobre el mismo utilizando el procedimiento como se representa en la figura 4, después de la infiltración, según aspectos de la presente invención;
- la figura 6 es una ilustración esquemática que representa otra forma de realización de un sistema y un procedimiento para la formación de un material compuesto resistente al desgaste sobre un sustrato utilizando infiltración hacia fuera, antes de la infiltración, según aspectos de la presente invención;
- 20 la figura 7 es una ilustración esquemática que representa una sección transversal del sistema como se representa en la figura 6;
- 25 la figura 8 es una ilustración esquemática que representa otra forma de realización de un sistema y un procedimiento para la formación de un material compuesto resistente al desgaste sobre un sustrato utilizando infiltración vertical y horizontal, antes de la infiltración, según aspectos de la presente invención;
- la figura 9 es una ilustración esquemática que representa otra forma de realización de un sistema y un procedimiento para la formación de un material compuesto resistente al desgaste sobre un sustrato utilizando infiltración vertical y horizontal, antes de la infiltración, según aspectos de la presente invención;
- 30 la figura 10 es una microfotografía que ilustra un ejemplo de partículas esféricas de carburo de tungsteno de fundición en una matriz de hierro dúctil, producidas utilizando un procedimiento según la presente invención;
- 35 la figura 11 es una microfotografía que ilustra una interfaz entre un compuesto de carburo de tungsteno de fundición esférico/hierro dúctil y hierro dúctil en exceso que queda después del proceso de infiltración utilizando un procedimiento según la presente invención;
- 40 la figura 12 es una ilustración esquemática que representa otra forma de realización de un sustrato provisto del material compuesto resistente al desgaste formado sobre el mismo utilizando un procedimiento de infiltración, según aspectos de la presente invención;
- 45 la figura 13 es una ilustración esquemática que representa un ejemplo de un sistema y un procedimiento para la infiltración de material resistente al desgaste poroso con un material de cobre de soldadura en un horno bajo condiciones de vacío, según otra forma de realización de la presente invención;
- la figura 14 es una ilustración esquemática que representa un ejemplo de un sistema y un procedimiento para la infiltración de un material resistente al desgaste poroso con un material de cobre de soldadura en un horno bajo condiciones de vacío antes de la fusión del material de cobre de soldadura, según una forma de realización de la presente invención;
- 50 la figura 15 es una ilustración esquemática del sistema y del procedimiento de la figura 14, con presión parcial de argón introducido en el interior del horno después de la fusión del material de cobre de soldadura;
- 55 la figura 16 es una ilustración esquemática que representa un ejemplo de un sistema y un procedimiento para la infiltración de un material resistente al desgaste poroso con un material de cobre de soldadura en un horno bajo una presión parcial de argón, según otra forma de realización de la presente invención;
- 60 la figura 17 es una vista en perspectiva de otra forma de realización de un sustrato configurado para la utilización según aspectos de la presente invención, en forma de una punta para equipo de excavación o minería;
- la figura 18 es una vista en sección transversal del sustrato de la figura 17, que tiene un material compuesto resistente al desgaste formado sobre una superficie exterior del mismo;
- 65

la figura 19 es una vista en perspectiva de una forma de realización de una cáscara configurada para la utilización como un molde para la formación de un material compuesto resistente al desgaste según aspectos de la presente invención; y

5 la figura 20 es una vista en sección transversal de la cáscara de la figura 19 conectada a una forma de realización de un sustrato en forma de una punta para equipo de excavación o minería, configurada para utilizarla en la formación de un material compuesto resistente al desgaste según aspectos de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

10 Mientras esta invención es susceptible de ser realizada de muchas formas diferentes, se representan en los dibujos y se describirán en este documento en detalle formas de realización preferidas de la invención con la comprensión de que la presente revelación se tiene que considerar como una ejemplificación de los principios de la invención y no se pretende que limite los aspectos amplios de la invención a las formas de realización ilustradas y descritas.

15 En general, los aspectos de la invención se refieren a sistemas y procedimientos de formación de un material compuesto resistente al desgaste que incluye la colocación de un material de relleno resistente al desgaste poroso en una cavidad de un molde y la infiltración del material de relleno con un material de matriz mediante el calentamiento a una temperatura suficiente para fundir el material de matriz, enfriando después el conjunto para formar un material compuesto resistente al desgaste. El material compuesto resultante incluye el material de matriz entremezclado con el material de relleno y unido al material de relleno, en donde el material de matriz une el compuesto al sustrato y también puede unir junto el material de relleno. El sistema y el procedimiento pueden ser utilizados para formar el material compuesto resistente al desgaste en la superficie de un sustrato, tal como una pieza para equipo de minería, excavación o bien otro equipo para el movimiento de tierras o bien otra pieza mecánica. Se comprenderá que la "superficie" de un sustrato como se describe en este documento puede incluir una pluralidad de superficies diferentes y no implica contorno específico alguno para esa superficie o superficies a menos que se indique explícitamente. El sustrato puede ser cualquier material con un punto de fusión que sea adecuado para el proceso de infiltración, por ejemplo que tenga un punto de fusión que sea más elevado que el material de matriz. Ejemplos de sustratos de este tipo incluyen materiales metálicos de fundición, forja y producidos metalúrgicamente con polvo, así como materiales cerámicos y a partir de cerámica tales como cerámicas metalizadas. En una forma de realización, el sustrato puede ser acero al carbono, acero aleado, acero inoxidable o acero de herramientas. El sistema y el procedimiento alternativamente pueden ser utilizados para formar el material compuesto resistente al desgaste como una pieza unitaria.

35 El procedimiento utiliza hierro dúctil como el material de matriz y produce un compuesto denso, duro y tenaz con una resistencia al desgaste y una tenacidad excelentes. Adicionalmente el hierro dúctil tiene un punto de fusión que es suficientemente bajo como para permitir la fusión sin un calentamiento excesivo. Todos los tipos/grados de hierro dúctil pueden ser utilizables según la invención, incluyendo cualquier hierro dúctil que esté dentro del ámbito definido por la norma ASTM A 536 -84 (aprobada otra vez en 2004), la cual se incorpora a este documento como referencia. En una forma de realización, un material de matriz de hierro dúctil puede tener una composición, en porcentaje en peso de aproximadamente 3,0 - 4,0 % de carbono; aproximadamente 1,8 - 2,8 % de silicio; aproximadamente 0,1 - 1,0 % de manganeso, aproximadamente 0,01 - 0,03 % de azufre y aproximadamente 0,01 - 0,1 % de fósforo, con el resto siendo hierro y elementos incidentales e impurezas. Como se utiliza en este documento, el término "aproximadamente" designa una variación de +/-10% de los valores nominales relacionados (por ejemplo, los extremos de las gamas de la composición). En otra forma de realización, la composición puede no incluir esta variación. En una forma de realización adicional, la composición anterior puede incluir adiciones de aleaciones adicionales, tales como adiciones de Ni, Cr y/o Si, para mejorar la resistencia a la corrosión, la resistencia al desgaste y/o propiedades de elevada temperatura del material de matriz. Por ejemplo, se puede añadir Ni en cantidades de hasta el 37 % en peso, se puede añadir Cr en cantidades de hasta el 5,5% en peso y/o se puede añadir Si en cantidades de hasta aproximadamente 5,5 en diversas formas de realización. Una aleación de hierro dúctil puede incluir todavía adiciones de aleaciones adicionales en otras formas de realización, incluyendo adiciones de aleaciones que puedan mejorar el comportamiento. Aleaciones de hierro dúctil con adiciones de aleaciones de ese tipo son conocidas como hierros dúctiles de alta aleación y generalmente quedan dentro de los ámbitos de las normas ASTM A439 y A571, las cuales también se incorporan a este documento como referencia. Las aleaciones de este tipo también se pueden utilizar según formas de realización del sistema y el procedimiento descritos en este documento. En otras formas de realización, cualquier adición de aleaciones puede ser utilizada para lograr propiedades y/o microestructuras diferentes, con tal de que no afecten adversamente a las propiedades o a la microestructura de una manera excesiva, tal como incrementando significativamente la temperatura de infiltración y/o degradando las propiedades de la matriz o del material resistente al desgaste resultante. El procedimiento puede ser utilizado para crear un compuesto con un material de matriz metálico diferente del hierro dúctil, en una forma de realización alternativa.

65 El material de matriz puede estar provisto en una variedad de formas. Por ejemplo, en una forma de realización, el material de matriz puede estar provisto en forma monolítica, tal como uno o más bloques, lingotes, etc. En otra forma de realización, el material de matriz puede estar provisto en forma de partículas, tal como polvo, fibras, filamentos, etc. En una forma de realización adicional, el material de matriz puede estar provisto en una forma porosa. El

material de matriz puede estar provisto en una combinación de formas de estos tipos en formas de realización adicionales.

Diversos materiales duros y resistentes al desgaste pueden ser utilizados como el material de relleno en conexión con diferentes formas de realización, incluyendo diversos carburos, nitruros, boruros y siliciuros, así como otros materiales duros y resistentes al desgaste y mezclas de materiales de ese tipo, incluyendo otros tipos de materiales cerámicos. Tales materiales pueden estar provistos en forma pura y/o con recubrimientos adecuados que proporcionen compatibilidad humectante. Por ejemplo, cuando las partículas del material resistente al desgaste no son de humectación compatible con el material de matriz, las partículas de material resistente al desgaste pueden estar recubiertas con recubrimientos de humectación compatible antes de que sean utilizados para la formación del material compuesto por soldadura con bronce por infiltración. Los carburos que pueden ser utilizados como el material de relleno incluyen el carburo de tungsteno (WC), TiC, SiC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, VC, ZrC, NbC, TaC, (W, Ti)C, B<sub>4</sub>C, y Mo<sub>2</sub>C, y otros carburos. En una forma de realización, fundición esférica de WC, fundición triturada de WC, y/o WC cementado se utiliza como el material de relleno. Los nitruros que pueden ser utilizados como material de relleno incluyen TiN, BN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, ZrN, VN, TaN, NbN, HfN, CrN, MoN, WN y otros nitruros. Los boruros que pueden ser utilizados como el material de relleno incluyen boruros de materiales de transición tales como boruro de titanio, boruro de cromo, boruro de tungsteno, boruro de níquel, boruro de circonio, boruro de hafnio, boruro de tántalo, boruro de niobio, boruro de vanadio, boruro de molibdeno, boruro de silicio, y boruro de aluminio así como otros boruros. Los siliciuros que pueden ser utilizados como material de relleno incluyen siliciuros de metales de transición. Otros materiales que pueden ser utilizados como materiales de relleno incluyen compuestos inter metálicos de metales de transición. En una forma de realización, el material de relleno puede ser seleccionado sobre la base del material que tenga una solubilidad limitada en el material de cobre de soldadura fundido, a fin de limitar o evitar la disolución del material de relleno en el material de cobre de soldadura. Como se utiliza en este documento, los términos "material de matriz" y "material de relleno" no se deben considerar que impliquen que el material de matriz o el material de relleno formen una proporción específica del material compuesto. Por ejemplo, el material de matriz no necesita formar la mayoría o una pluralidad del material compuesto y el material de relleno puede formar una mayoría una pluralidad del material compuesto en algunas formas de realización.

El material de relleno poroso puede estar provisto en una o más formas diferentes. En una forma de realización, el material de relleno poroso puede estar en forma de un material en partículas sueltas, tal como polvo, fibras, filamentos, etcétera. El procedimiento puede utilizar una amplia gama de tamaños de partículas en diversas formas de realización, incluyendo partículas de tamaños inferiores a 50 µm o partículas inferiores a 1 mm. En una forma de realización, el material de relleno en partículas puede tener un tamaño de las partículas que sea mayor que 0,1 µm. En otra forma de realización, el material de relleno en partículas puede tener un tamaño de la partícula que sea mayor que 0,1 µm y hasta 5 mm. En una forma de realización adicional, el material de relleno en partículas puede tener un tamaño promedio de las partículas de aproximadamente 500 µm. En una forma de realización, el material de relleno puede estar provisto en múltiples tamaños de partículas, tales como una combinación de partículas gruesas y finas, combinación la cual puede ser utilizada para conseguir una fracción de mayor densidad y/o volumen del material de relleno. En una fracción de volumen determinada de material de relleno, una utilización de ese tipo de partículas finas generalmente conduce a tamaños de poros más finos e incrementa el límite de fluencia del material de matriz que rellena estos poros, incrementando de ese modo la resistencia al desgaste global del material. Cuando el material en partículas se coloca en una cavidad del molde, los espacios entre las partículas forman una estructura porosa que puede ser infiltrada por el material de matriz. En otra forma de realización, el material de relleno poroso puede estar en forma de una preforma porosa. La porosidad de la preforma porosa puede variar desde el 5% hasta el 95% en una forma de realización. Por ejemplo, la preforma porosa puede incluir un material en partículas que está unido junto por un material aglutinante, tal como un aglutinante de polímero. Una preforma puede estar fijada al material del sustrato, tal como mediante un adhesivo que se volatizará durante el proceso de infiltración. En el momento de la infiltración, el material de matriz fundido tiene una temperatura suficiente como para extraer el material aglutinante (tal como mediante fusión, volatilización, etc.) de modo que el material de matriz puede rellenar los poros dejados por la extracción del aglutinante además de los poros entre las partículas. Como otro ejemplo, la preforma porosa puede incluir un material en partículas que se une junto por sinterizado de modo que existan poros entre las partículas. En una forma de realización, una preforma previamente sinterizada puede tener un tamaño de poros que sea del orden del tamaño de las partículas, puesto que la pieza se puede sinterizar ligeramente para conseguir un crecimiento del cuello entre partículas y proporcionar alguna resistencia de manipulación mecánica. Otros materiales porosos también pueden ser utilizados, tales como fieltros de fibra tejida o tejidos. En una forma de realización adicional, el material de relleno poroso puede estar provisto en una combinación de formas diferentes. Por ejemplo, en una forma de realización, el material de relleno puede incluir una o más preformas que forman una parte del material de relleno con otras partes estando formadas por un material en partículas (por ejemplo polvo suelto, fibras, filamentos, etc.) y/o fieltros de fibra tejida o tejidos.

La operación de soldadura con bronce por infiltración del material de relleno mediante el material de matriz generalmente se puede conseguir mediante calentamiento del material de matriz por encima de su punto de fusión mientras está en contacto o en combinación de otro modo con el material de relleno, para permitir que el material de matriz fundido entre en contacto con el material de relleno y se infiltre en el material de relleno poroso. El material de relleno generalmente se coloca en contacto o en comunicación de otro modo con el sustrato durante la infiltración, a fin de que el material de matriz entre en contacto con el material del sustrato durante la infiltración para conectar el

material compuesto resultante al sustrato. Diversos moldes pueden ser utilizados en conexión con la infiltración como se describe más adelante en este documento. Las figuras 1 - 3 ilustran diversas configuraciones de infiltración según diversas formas de realización, cada una ilustrando esquemáticamente un material de matriz fundido 16 que se infiltra en un material de relleno 15 en una cavidad 11 de un molde 12. La figura 1 ilustra una infiltración vertical hacia abajo, en la cual la gravedad ayuda a la infiltración. Sin embargo, puesto que la infiltración principalmente está accionada por acción de capilaridad, la infiltración horizontal, la infiltración vertical hacia arriba, la infiltración hacia fuera/radial, y otras configuraciones de infiltración las cuales pueden no utilizar la gravedad o pueden trabajar contra la gravedad. La figura 2 ilustra un ejemplo de infiltración vertical hacia arriba y la figura 3 ilustra un ejemplo de infiltración horizontal. Las figuras 6 - 7 descritas con mayor detalle más adelante en este documento, ilustran un ejemplo de infiltración hacia fuera o radial, el cual puede ser considerado otro ejemplo de infiltración horizontal. En cualquier forma de realización de infiltración que no sea hacia abajo, puede ser utilizada una técnica para desplazar el material de matriz fundido 16 que se ha infiltrado en el material de relleno 15 a fin de mantener el material de matriz fundido 16 en contacto con el material de relleno 15 hasta que se complete la infiltración. Por ejemplo, el molde 12 puede ser movido durante la infiltración para mantener el material de matriz 16, el material de relleno 15 y el sustrato en contacto/comunicación apropiado. Como otro ejemplo, un pistón accionado o bien otro mecanismo de presión puede ser utilizado para asegurar que el material de matriz 15 esté siempre en contacto con el material de relleno durante la infiltración. En un ejemplo adicional, un material móvil tal como bolas de cerámica puede ser utilizado para desplazar el material de matriz infiltrado, como se describe más adelante en este documento y se representa en las figuras 6 - 9.

En una forma de realización, el material de matriz o de cobre de soldadura se sobrecalienta de 25°C hasta 75°C por encima del punto de fusión, el cual es significativamente inferior que el sobrecalentamiento típicamente requerido para la fundición. En una forma de realización de ejemplo, en el que se utiliza un material de hierro dúctil como el material de matriz, la infiltración puede ser conducida a una gama de temperaturas de 1175°C hasta 1246°C (2150°F hasta 2275°F), o una temperatura de 1191°C (2175°F) en otra forma de realización. El periodo de tiempo de mantenimiento para la infiltración puede ser desde 1 hasta 60 minutos en una forma de realización, con longitudes de infiltración mayores generalmente utilizando tiempos de infiltración más largos. La infiltración puede ser conducida en una atmósfera inerte en una forma de realización, tal como una atmósfera de argón (Ar), lo cual puede evitar salpicadura del metal fundido inducida por volatilización a temperaturas por encima del punto de fusión. En una forma de realización, la presión del argón durante la infiltración puede ser aproximadamente de 6.6 Pa hasta 41 Pa ( $6.5 \times 10^{-5}$  atm hasta  $4 \times 10^{-4}$  atm). Diversas atmósferas que pueden ser utilizadas para la infiltración se describen con mayor detalle más adelante en este documento y se ilustran en las figuras 13 - 16. Después de la infiltración, la pieza puede ser enfriada, por ejemplo, refrigeración hasta 927°C (1700°F) durante más de aproximadamente 20 - 30 minutos y entonces refrigerada más lentamente a la temperatura ambiente en una forma de realización. Dependiendo de la naturaleza de los materiales implicados, particularmente el material del sustrato, se puede realizar un procesamiento posterior tal como mecanizado y/o tratamiento térmico. Por ejemplo, dependiendo de la identidad del sustrato, los tratamientos térmicos tales como la normalización, endurecimiento seguido por templeado, o martempleado seguido por templeado pueden ser realizados según las técnicas conocidas. Se comprenderá que algunos sustratos no se beneficiarán a partir de algunos (o ningún) tratamiento térmico. El mecanizado puede ser o no deseado sobre la base de la aplicación pretendida de la pieza resultante.

La infiltración del material de relleno como ha sido descrita antes en este documento es conducida por acción capilar, esto es presión capilar que actúa en el frente de infiltración. La presión diferencial en el frente de infiltración depende de varios factores, incluyendo la tensión superficial del material de matriz fundido, el ángulo de contacto del material de matriz fundido con respecto al material de relleno, las características geométricas del material de relleno (por ejemplo, porosidad, tortuosidad, variación en el tamaño y la forma del poro, y su efecto en el ángulo de contacto aparente del material fundido) y la presión de cualquier gas residual en el interior del material de relleno. La libertad para controlar muchos de estos factores puede estar limitada dentro de un sistema específico de matriz/relleno. La presión del gas residual puede ser controlada por lo menos parcialmente y la minimización de la presión del gas residual en el interior del material de relleno puede hacer máximo el diferencial de presión y la fuerza de accionamiento de la acción capilar. Esto, a su vez, puede hacer máxima la distancia potencial que el material de matriz se puede infiltrar en el material de relleno. En por lo menos algunas configuraciones, la utilización de material de relleno en forma de una preforma o preformas puede hacer máxima la distancia de infiltración comparada con otras formas de material de relleno.

Las figuras 13 - 16 ilustran sistemas o conjuntos para la formación de un material compuesto resistente al desgaste, en donde se utilizan diferentes atmósferas durante la operación de soldadura con bronce para controlar y/o hacer mínima la presión del gas residual en el material de relleno 15. En estas formas de realización, la infiltración se realiza en un horno 30 con una cámara 31 que sostiene el molde 12, el material de matriz 16 y el material de relleno 15, en donde puede estar controlada la atmósfera en el interior de la cámara 31. Se comprenderá que el conjunto adicionalmente puede incluir un sustrato (no representado) que esté en comunicación con el molde 12 como se describe más adelante en este documento. La atmósfera en la operación de soldadura con bronce se puede controlar para ayudar a conseguir un gradiente de la presión de capilaridad que sea suficiente para accionar la infiltración del material de matriz sobre distancias mayores/más largas a través del material de relleno, tal como distancias de aproximadamente 12,7 - 17,8 cm (5 - 7 pulgadas) o mayores. En cada una de las formas de realización descritas más adelante en este documento y representadas en las figuras 13 - 16, en la cámara 31 se hace

sustancialmente el vacío antes de la fusión del material de matriz 16. La realización del vacío por lo menos al principio de proceso de infiltración se prefiere en una forma de realización, a fin de evitar la oxidación del material de relleno. Diferentes procedimientos pueden ser utilizados en otras formas de realización, sin embargo, tales como la realización o no de vacío a un grado inferior de lo que se ha descrito antes en este documento.

5 La figura 13 ilustra una forma de realización de un sistema 500 para infiltración, en donde la infiltración se realiza bajo condiciones de vacío. En esta forma de realización, se realiza el vacío en la cámara entera 31 antes de la fusión del material de matriz 16 y se mantiene bajo condiciones de vacío a través del proceso de infiltración. En una forma de realización, la presión del gas después de la realización del vacío puede ser desde 0,13 Pa hasta 1,3 Pa (0,001 hasta 0,010 Torr), o puede ser tan baja como 0,013 Pa (0,0001 Torr) en otra forma de realización desde 0,013 Pa hasta 1,3 Pa (por ejemplo, de 0,0001 hasta 0,010 Torr), o puede ser por debajo de 0,013 Pa (0,0001 Torr) en una forma de realización adicional. La infiltración puede ser realizada a aproximadamente desde 1193°C hasta 1218°C (2180-2225°F) durante 30 - 60 minutos en una forma de realización. La formación de vacío en la cámara antes de la fusión del material de matriz 16 reduce o elimina la presión del gas residual en el material de relleno 15, lo cual ayuda en el accionamiento de la infiltración a través de la acción capilar. Se observa que las salpicaduras debido a la volatilización de los productos químicos en el interior del material de matriz se pueden encontrar como resultado del mantenimiento del sistema bajo vacío después de que el material de matriz haya sido fundido cuando se utilizan ciertas aleaciones, particularmente aleaciones con un contenido significativo de manganeso. Tales salpicaduras no sólo pueden dañar el equipo en el horno 30, sino que también pueden reducir la cantidad de material de matriz 16 disponible para la soldadura con bronce. Estas salpicaduras se pueden mitigar manteniendo el contenido de manganeso de la aleación suficientemente bajo, aunque hacer eso puede resultar caro. Estas salpicaduras también se pueden evitar mediante la presencia de argón o bien otro gas no reactivo en la cámara 31 después de que se haya fundido el material de matriz 16.

25 Las figuras 14 - 15 ilustran otra forma de realización de un sistema 600 para la infiltración en donde se introduce gas argón en el interior de la cámara 31 después de que se haya fundido el material de matriz 16. Como se representa en la figura 14, en la cámara 31 se realiza el vacío como ha sido descrito antes en este documento antes del proceso de soldadura con bronce, como se ha descrito de forma similar antes en este documento con respecto a la figura 13. Como se ha descrito antes, la infiltración se puede realizar a aproximadamente desde 1193°C hasta 1218°C (2180-2225°F) durante 30 - 60 minutos en una forma de realización. Después de que el material de matriz 16 se haya fundido, el gas argón 32 (o bien otro material no reactivo) se introduce en el interior de la cámara 31. En una forma de realización, el gas argón 32 es alimentado en el interior de la cámara 31 hasta que la presión parcial del argón alcance aproximadamente 6,5 Pa - 13 Pa (0,050 - 0,100 Torr). La formación de vacío en la cámara antes de la fusión del material de matriz 16 reduce o elimina la presión del gas residual en el material de relleno 15, lo cual ayuda en el accionamiento de la infiltración como ha sido descrito antes en este documento y la introducción última del gas argón 32 ayuda en la reducción de las salpicaduras causadas por las sustancias volátiles. En un ejemplo que utiliza un sistema como se representa en las figuras 14 - 15, el material de matriz 16 se encontró que se infiltró hasta por lo menos 190 milímetros (7,5 pulgadas) del material de relleno 15 durante la infiltración a 1193°C (2180°F), cuando la atmósfera de argón fue introducida después de la fusión del material de matriz 16. Sin embargo, cuando la atmósfera de argón se introdujo antes de la fusión, se encontró que el material de matriz 16 se infiltró únicamente 167 mm (6,5 pulgadas) como máximo, sin tener en cuenta cuánto tiempo se mantuvo el sistema a la temperatura de infiltración. Esto indica que el gas residual en el interior del material de relleno 15 puede limitar la longitud de infiltración que se puede conseguir a través de la acción capilar.

45 La figura 16 ilustra otra forma de realización de un sistema 700 para la infiltración, en donde gas argón 32 se introdujo en el interior de la cámara 31 antes de la fusión del material de matriz 16. De forma similar a como ha sido descrito antes en este documento con respecto a la figura 14, en la cámara 31 en esta forma de realización se realiza el vacío como ha sido descrito antes durante el proceso de calentamiento hasta que el sistema aproximadamente alcance la temperatura de fusión del material de matriz 16 (por ejemplo hasta que la temperatura alcanza aproximadamente 1117°C (2150°F) para el hierro dúctil). En ese punto, el gas argón 32 o bien otro gas no reactivo se introduce en el interior de la cámara 31 antes de la fusión del material de matriz 16. De forma similar a como ha sido descrito antes en este documento, el gas 32 puede ser introducido hasta que se alcance una presión de argón parcial de 6,5 Pa - 13 Pa (0,050 - 0,100 Torr) en una forma de realización. Como ha sido descrito antes, la infiltración se puede realizar a aproximadamente 1193 - 1218°C (2180-2225°F) durante aproximadamente 30 - 60 minutos en una forma de realización. A fin de evitar la presión del gas residual en el material de relleno 15 que limite la infiltración, el molde 12 está provisto de una parte permeable 33 en contacto con el material de relleno 15. La parte permeable 33 puede ser porosa o bien permeable al gas de otro modo, para permitir que el gas residual escape del material de relleno 15 durante la infiltración, de modo que no limite la infiltración del material de matriz 16. La parte permeable 33 puede estar provista generalmente opuesta al material de matriz 16 para evitar que el material de matriz 16 cubra o selle la parte permeable 33 para evitar el escape de gas residual antes de completar la infiltración. Como ha sido descrito antes en este documento, la presencia de gas argón suprime las salpicaduras del material de matriz fundido 16. En un ejemplo que utiliza un sistema como se representa en la figura 16, con el molde 12 incluyendo la parte permeable 33, el material de matriz 16 se encontró que se infiltró hasta por lo menos 190 mm (7,5 pulgadas) del material de relleno 15 durante la infiltración a 1218°C (2225°F), cuando la atmósfera de argón se introdujo antes de la fusión del material de matriz 16. Sin embargo cuando el molde 12 se selló y el frente de infiltración no estaba en comunicación con la atmósfera en la cámara 31 después de la fusión del material de matriz

16, la infiltración se encontró que se extendió únicamente 167 mm (6,5 pulgadas) como máximo. Esto indica que el mantenimiento del frente de infiltración en comunicación con la atmósfera en la cámara 31 puede reducir el efecto de limitación que el gas residual en el interior del material de relleno 15 puede tener sobre la fuerza de accionamiento de la acción capilar.

Las figuras 4 - 5 ilustran una forma de realización de ejemplo de un sistema o conjunto 100 para la formación de un material compuesto resistente al desgaste y un procedimiento que utiliza el sistema o conjunto 100. En esta forma de realización, el sustrato 10 (por ejemplo una punta de una herramienta de excavación) se coloca con una cavidad 11 de un molde 12, de tal modo que el molde 12 atrapa un volumen en la cavidad 11 entre la superficie interior 13 del molde y la superficie exterior 14 del sustrato 10 como se representa en la figura 4. El sustrato 10 se puede preparar previamente, tal como mediante limpieza y secado para extraer aceite o sustancias grasientas y/o limpiar con chorro de granalla cortante utilizando grano de aristas vivas de granate para extraer las capas de óxido y hacer la superficie granulada de modo que el material de matriz se una bien al sustrato 10. El molde 12 puede estar fabricado a partir de cualquier material adecuado, tal como un material metálico de un alto punto de fusión, un material cerámico o grafito. El molde 12 se suelda, se suelda con bronce o se conecta de otro modo a la superficie exterior 14 del sustrato 10, tal como mediante soldaduras en los puntos P. En una forma de realización, el molde 12 es una cáscara de acero que está soldada al sustrato para crear la cavidad 11 y puede ser limpiada con chorro de granalla cortante antes de la soldadura a fin de evitar la contaminación de la cavidad del molde 11. Una forma de realización de este tipo se describe con mayor detalle más adelante en este documento y se representa en las figuras 19 - 20. El material de relleno 15 se inserta en el interior de la cavidad del molde 11 en contacto o en comunicación de otro modo con la superficie exterior 14 del sustrato 10, tal como en forma de material en partículas o una preforma, como se representa en la figura 4. El material de matriz 16 se coloca en comunicación con el material de relleno 15 y la superficie exterior 14 del sustrato. El material de matriz 16 se puede colocar en el interior de la cavidad del molde 11, tal como mediante la colocación simplemente del material de matriz 16 encima del material de relleno 15 en forma sólida, como se representa en la figura 4. En una forma de realización, el material de matriz 16 puede estar en forma de bloque o de lingote. En otra forma de realización el material de matriz 16 puede estar colocado en un alimentador o una estructura de inyección. El sistema 100 puede entonces ser preparado para la infiltración, como se ha descrito antes en este documento, tal como mediante la colocación del sistema 100 en un horno para el calentamiento, el cual puede incluir una atmósfera inerte (por ejemplo, argón). Una bandeja o una vasija similar pueden ser utilizadas para sostener el sistema 100 en el horno, tal como una bandeja de acero inoxidable. Durante la infiltración, el material de matriz 16 se funde e infiltra hacia abajo a través de todo el material de relleno 15 eventualmente entrando en contacto con la superficie exterior 14 del sustrato 10.

Después de que haya sido conducida la infiltración y el sistema 100 se haya enfriado como ha sido descrito antes en este documento, se forma una pieza 17 que tiene un recubrimiento compuesto 18 en la superficie exterior 14, como se representa en la figura 5. La pieza 17 puede ser extraída del molde 12, lo cual puede requerir cortar o romper el molde 12 si está soldado al sustrato 10 y/o unido al recubrimiento 18. El recubrimiento compuesto 18 contiene el material de relleno 15 unido junto y conectado al sustrato 10 por el material de matriz 16. En una forma de realización, el material de relleno 16 puede tener una fracción de volumen del 5 - 95% en el material compuesto 18. En otra forma de realización, el material de relleno 16 puede tener una fracción de volumen del 30 - 85%. En algunas formas de realización, la pieza 17 puede tener exceso de material de matriz 19 en por lo menos una parte del exterior del recubrimiento compuesto 18. El material en exceso 19 puede ser creado intencionalmente y dejado en la pieza 17, de tal modo que sirva como una base para la soldadura o la fijación a otra pieza. El material en exceso 19, si está presente, en cambio puede ser quitado, tal como mediante mecanizado. El recubrimiento compuesto 18 puede estar formado con una amplia gama de grosores, dependiendo de la aplicación deseada. En una forma de realización, una pieza 17 puede estar formada con un recubrimiento compuesto 18 que sea de aproximadamente 1,25 cm (0,5") de grueso, el cual puede ser utilizable en una amplia variedad de aplicaciones. La pieza 17 puede ser una punta, borde, o bien otra parte de una pieza de equipo que soporta impactos y tensión repetidos y la resistencia al desgaste y la tenacidad excelentes del recubrimiento compuesto 18 mejora el comportamiento en tales aplicaciones. El equipo de excavación/minería representa un ejemplo de una aplicación para una pieza 17 producidas según los sistemas y los procedimientos descritos en este documento. La figura 12 ilustra una forma de realización adicional de una pieza 17' producida según una forma de realización del sistema y del procedimiento descrito en este documento, en forma de un elemento de desgaste para equipo para el movimiento de tierras (por ejemplo, una punta de minería de acero) con una parte de trabajo que forma el sustrato 10' superpuesta en su superficie exterior 14' con una capa de material compuesto resistente al desgaste 18' como ha sido descrito antes en este documento. En una forma de realización, la capa de material compuesto 18' consiste en partículas de carburo de tungsteno de fundición esféricas o bien otro material resistente al desgaste en un material de matriz de hierro dúctil.

Las figuras 17 - 18 ilustran otra forma de realización de un sustrato 10 (por ejemplo, una punta de una herramienta de excavación o minería) que puede ser utilizada en conexión con el sistema o conjunto 100 como se representa en las figuras 4 - 5, o un sistema/conjunto similar, para producir un recubrimiento compuesto resistente al desgaste 18. Dependiendo de la identidad y la naturaleza del material del sustrato 10, el material de relleno 15 y/o el material de matriz 16, los coeficientes de expansión térmica (CTE) del sustrato 10 y del recubrimiento 18 pueden no coincidir. Por ejemplo, cuando se utiliza un sustrato de acero 10, el acero típicamente tienen un CTE más alto que el recubrimiento 18. Un ejemplo de una diferencia de CTE de este tipo puede ser aproximadamente de  $2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ,

dependiendo de los materiales utilizados. Esto, a su vez, puede causar la desunión entre el sustrato 10 y el recubrimiento 18, particularmente cuando el recubrimiento 18 está formado en la superficie exterior del sustrato 10 (por ejemplo, como se representa en las figuras 4 - 5). En la forma de realización de las figuras 17 - 18, el sustrato 10 está provisto de protrusiones 28 en forma de nervios en la superficie exterior 14. Las protrusiones 28 pueden ayudar a mitigar los problemas causados por las diferencias en el CTE entre el sustrato 10 y el recubrimiento de 18 deformándose plásticamente en respuesta a las presiones ejercidas cuando el sustrato 10 y el recubrimiento 18 se enfrían después de la soldadura con bronce. En una forma de realización, las protrusiones 28 puede estar formadas de un material con un límite de fluencia relativamente bajo y una buena ductilidad a fin de facilitar la deformación plástica. Otras consideraciones en la selección del material para las protrusiones 28 son su compatibilidad para la conexión al sustrato 10 (por ejemplo, por soldadura o bien otra técnica) y para la unión al recubrimiento 18. Un ejemplo de material adecuado para utilizarlo como protrusiones unidas a un sustrato de acero 10 es acero bajo en carbono, tal como AISI 1008. Otros ejemplos de materiales adecuados pueden incluir acero inoxidable 304, AISI 1018 y AISI 1010, entre otros. Las protrusiones 28 también proporcionan superficies adicionales para la unión del recubrimiento 18 y por lo tanto pueden mejorar adicionalmente la unión entre el recubrimiento 18 y el sustrato 10. Como se ve en la figura 18, el recubrimiento 18 se forma alrededor de las protrusiones 28 de tal modo que las protrusiones 28 se incorporan en el interior del recubrimiento 18 y se unen al recubrimiento 18 en la pieza acabada 17. Sin embargo en otras formas de realización, las protrusiones 28 se pueden extender por lo menos hasta la superficie exterior del recubrimiento 18 y pueden estar alineadas sustancialmente con la superficie exterior del recubrimiento 18.

Las protrusiones 28 en la forma de realización de las figuras 17 - 18 se extienden hacia fuera desde la superficie exterior 14 del sustrato 10 y son en forma de nervios o placas que tienen una longitud y una altura significativamente mayor que su grosor. En un ejemplo, las protrusiones 28 pueden tener una longitud de aproximadamente 2,54 cm - 5,1 cm (1 - 2 pulgadas) (paralela a la superficie del sustrato 10), una altura de aproximadamente 0,63 cm (0,25 pulgadas) (paralela a la dirección del grosor del recubrimiento 18) y un grosor de aproximadamente 0,32 cm (0,125 pulgadas). Adicionalmente, las protrusiones 28 en esta forma de realización están orientadas de una manera globalmente axial y distribuidas bastante uniformemente y simétricamente en todas las facetas de la superficie exterior 14 del sustrato 10. En una forma de realización, las protrusiones 28 pueden tener un grosor, longitud y ancho seleccionado de tal modo que algunas o todas las tensiones que resultan a partir del desajuste de la expansión térmica se acomoden por deformación de las protrusiones 28. Adicionalmente, en una forma de realización, la longitud de cada protrusión puede ser mayor que la altura, la cual a su vez puede ser mayor que el grosor (esto es, longitud > ancho > grosor). Las protrusiones 28 que utilizan esta relación dimensional incrementan el área de unión potencial para el recubrimiento 18, ya que el área de unión potencial añadida por la protrusión 28 es mayor que el área de unión potencial del sustrato 10 cubierto por la protrusión 28. Las dimensiones de las protrusiones 28 se pueden modificar dependiendo del grosor del recubrimiento y las dimensiones del sustrato. La distancia entre las protrusiones 28 también puede depender de la ubicación y la geometría del sustrato 10 y puede variar desde 2,54 cm hasta 7,6 cm (1" hasta 3") en una forma de realización. En otras formas de realización, las protrusiones 28 pueden tener una forma diferente, tal como varillas, conos, espigas, etc. y pueden estar distribuidas y/u orientadas de una manera diferente. Las protrusiones 28 como se representa en la figura 17 están soldadas a la superficie exterior 14 del sustrato 10. El sustrato 10 puede ser limpiado con chorro de granalla cortante después de la soldadura. Otras técnicas para la conexión de las protrusiones 28 al sustrato 10 se pueden utilizar en otras formas de realización. Se comprenderá que las protrusiones 28 pueden estar formadas del mismo material que el sustrato 10 y pueden estar formadas integralmente con el sustrato 10 en una forma de realización. También se comprenderá que el sustrato 10 que tenga las protrusiones 28 puede requerir un tratamiento térmico o versiones modificadas de tratamientos térmicos tradicionales después de la soldadura y/o después de la soldadura con bronce, dependiendo de los materiales y las estructuras utilizados. Adicionalmente, la pieza acabada 17 como se representa en las figuras 17 - 18 es un elemento de desgaste, tal como una punta para equipo para el movimiento de tierras y el sustrato 10 está formado por una parte de trabajo del elemento resistente al desgaste, de tal modo que las protrusiones 28 están conectadas a la parte de trabajo. Se comprenderá que otros tipos de protrusiones 28 pueden ser utilizados con un elemento resistente al desgaste de este tipo y también que las protrusiones 28 como se representa en las figuras 17 - 18 pueden ser utilizadas con otros tipos de artículos de fabricación.

Las figuras 6 - 9 ilustran otros sistemas y procedimientos para la creación de un compuesto resistente al desgaste según aspectos de la invención. Las figuras 6 - 7 ilustran un sistema 200 para la formación de un material compuesto en una superficie interior 20 de un sustrato 10 a través de infiltración hacia fuera o radial. En esta forma de realización el sustrato 10 es de forma tubular y el sustrato 10 se utiliza junto con un molde 12 y una placa 21 para crear una cavidad del molde 11 en el interior del sustrato 10. La placa 21 puede estar formada de cualquier material adecuado, incluyendo cualquier material mencionado antes en este documento para la construcción de moldes (por ejemplo, grafito, metal, o cerámica). Si la placa 21, el molde 12 y/o el sustrato 10 están fabricados de materiales que se puede soldar, cualquiera de estos componentes puede ser conectado por soldadura, sin embargo la soldadura no es necesaria. El material de relleno poroso 15 se coloca en la superficie anterior 20 del sustrato 10 en posición para formar el compuesto y el material de matriz 16 se coloca en contacto o en comunicación de otro modo con el material de relleno 15. Bolas de cerámica 22 o bien otro material de desplazamiento también se colocan en la cavidad del molde 11, en posición para el desplazamiento del material de matriz 16 durante la infiltración. Se comprenderá que el desplazamiento del material de matriz 16 se realiza a fin de sostener el material de matriz 16 en contacto constante con el material de relleno 15 durante la infiltración y que la infiltración del material de matriz 16 es

principalmente accionada por otras fuerzas (por ejemplo, acción capilar), en lugar de la fuerza ejercida por las bolas de cerámica 22. Alternativamente, se puede utilizar otra técnica de desplazamiento. En la forma de realización de las figuras 6 - 7, el material de matriz 16 se puede colocar en la cavidad del molde 11 en forma tubular (véase la figura 7), en contacto con el material de relleno 15 y se infiltra hacia fuera en el interior del material de relleno 15. El material de matriz 16 en cambio puede estar provisto como una pluralidad de lingotes dispuestos en una formación circular alrededor del material de relleno 15 en otra forma de realización. En esta configuración, las bolas de cerámica 22 se colocan en el interior del diámetro interior del material de matriz tubular 16 y las bolas 22 se mueven hacia fuera para desplazar el material de matriz infiltrado 16. Alternativamente, puede ser utilizada otra técnica de desplazamiento. El sistema 200 se puede colocar en un horno y ser procesado como ha sido descrito antes en este documento para completar la infiltración. La pieza resultante tiene un material de cerámica en la superficie interior 21 del sustrato y puede incluir material de matriz en exceso, como ha sido descrito antes.

La figura 8 ilustra un sistema 300 para la formación de un material compuesto en una superficie exterior 14 de un sustrato 10 a través tanto de infiltración horizontal como vertical hacia abajo. En esta forma de realización, una parte del sustrato 10 se coloca en el interior de la cavidad del molde 11 y una placa 21 se utiliza con el molde 12 para encerrar la cavidad del molde 11. La placa 21 puede estar formada de cualquier material adecuado, incluyendo cualquier material mencionado antes en este documento para la construcción del molde (por ejemplo, grafito, metal o cerámica). Si la placa 21, el molde 12 y/o el sustrato 10 están fabricados de materiales que se pueden soldar, cualquiera de estos componentes se puede conectar mediante soldadura, sin embargo la soldadura no es necesaria. Un elemento adicional 23 puede ser utilizado con propósitos de sellado y/o para terminar la infiltración y puede estar colocado adyacente a la placa 21. Una lámina de grafito o lana cerámica se pueden utilizar como el elemento adicional 23 para cumplir estas funciones, ya que el material de matriz 15 no humedece o penetra estos materiales. El material de relleno poroso 15 se coloca en la superficie exterior 14 del sustrato 10 en posición para formar el compuesto y el material de matriz 16 se coloca en contacto o en comunicación de otro modo con el material de relleno 15. Como se representa en la figura 8, el material de matriz 16 se coloca por encima del material de relleno 15 para la infiltración hacia abajo y junto al material de relleno 15 para la infiltración horizontal. Bolas de cerámica 22 o bien otro material de desplazamiento también se coloca en la cavidad del molde 11, en posición para desplazar el material de matriz 16 durante la infiltración. Alternativamente, se puede utilizar otra técnica de desplazamiento. En la forma de realización de la figura 8, el material de matriz 16 se coloca en la cavidad del molde 11 alrededor del material de relleno 15 y se infiltra horizontalmente y verticalmente en el interior del material de relleno 15. En esta configuración, las bolas de cerámica 22 se colocan horizontalmente alrededor del material de matriz 16 y las bolas 22 se mueven hacia dentro para desplazar el material de matriz infiltrado horizontalmente 16. Una barrera 24, tal como un fieltro de fibra cerámica flexible o un tejido, se puede colocar entre las bolas 22 y el material de matriz 16. La barrera 24 generalmente puede ser impermeable al material de matriz fundido 16 y también puede ser flexible y puede transmitir presión desde las bolas de cerámica 22 sobre el material de matriz 15. No es necesario desplazamiento del material de matriz verticalmente infiltrado 16. El sistema 300 puede ser colocado en un horno y procesado como ha sido descrito antes en este documento para completar la infiltración. La pieza resultante tiene un material de cerámica en la superficie exterior 14 del sustrato y puede incluir material de matriz en exceso, como ha sido descrito antes.

La figura 9 ilustra un sistema 400 para la formación de un material compuesto en una superficie exterior 14 de un sustrato 10 a través de infiltración tanto horizontal como vertical hacia abajo. En esta forma de realización, una parte del sustrato 10 se coloca en el interior de la cavidad del molde 11 y una placa 21 se utiliza con el molde 12 para encerrar la cavidad del molde 11. La placa 21 puede estar formada de cualquier material adecuado, incluyendo cualquier material mencionado antes en este documento para la construcción del molde (por ejemplo, grafito, metal o cerámica). Si la placa 21, el molde 12 y/o el sustrato 10 están fabricados de materiales que se puede soldar, cualquiera de estos componentes se pueden conectar mediante soldadura, sin embargo la soldadura no es necesaria. Un elemento adicional 23 puede ser utilizado con propósitos de sellado y/o para terminar la infiltración y puede estar colocado adyacente a la placa 21. Una lámina de grafito o lana cerámica se pueden utilizar como el elemento adicional 23 para cumplir estas funciones, ya que el material de matriz 15 no humedece o penetra estos materiales. El material de relleno poroso 15 se coloca en la superficie exterior 14 del sustrato 10 en posición para formar el compuesto y el material de matriz 16 se coloca en contacto o en comunicación de otro modo con el material de relleno 15. Como se representa en la figura 9, el material de matriz 16 se coloca por encima del material de relleno 15 para la infiltración hacia abajo y junto al material de relleno 15 para la infiltración horizontal. Bolas de cerámica 22 o bien otro medio de desplazamiento también se coloca en la cavidad del molde 11, en posición para desplazar el material de matriz 16 durante la infiltración. Alternativamente, se puede utilizar otra técnica de desplazamiento. En la forma de realización de la figura 9, el material de matriz 16 se coloca en la cavidad del molde 11 alrededor del material de relleno 15 y se infiltra horizontalmente y verticalmente en el interior del material de relleno 15. En esta configuración, las bolas de cerámica 22 se colocan horizontalmente y verticalmente alrededor del material de matriz 16 y las bolas 22 se mueven hacia dentro y hacia abajo para desplazar el material de matriz infiltrado 16. El sistema 400 puede ser colocado en un horno y procesado como ha sido descrito antes en este documento para completar la infiltración. La pieza resultante tiene un material de cerámica en la superficie exterior 14 del sustrato y puede incluir material de matriz en exceso, como ha sido descrito antes.

Las figuras 19 - 20 ilustran otro ejemplo de un sistema 800 para la formación de un material compuesto en una superficie exterior 14 de un sustrato 10 principalmente a través de la infiltración vertical hacia abajo. El sistema 800

de las figuras 19 - 20 utiliza un molde en forma de una cáscara 314 fabricada a partir de un material de chapa el cual está representado siendo utilizado conjuntamente con un sustrato 312 en la forma de una punta de excavación/minería que puede ser similar a los sustratos 10, 10' como se representa en las figuras 4 - 5 y 12. La cáscara 314 representada en las figuras 19 - 20, junto con otras cáscaras de este tipo, se describen con mayor detalle en la solicitud provisional americana US No. 61/472,470 presentada el 6 abril de 2011 y la solicitud de patente americana US serie No. 13/440,273 presentada el 5 abril de 2012 y publicada como publicación de solicitud de patente US No. 2012/0258273 el 11 octubre de 2012. La cáscara 314 puede ser utilizada para formar un recubrimiento compuesto 18 como se ha descrito de forma similar antes en este documento y representado en las figuras 4 - 5. En una forma de realización, el material de relleno 15 puede ser vertido a través del orificio 317 en la cáscara 314 y el material de matriz 16 puede ser colocado después de ello encima del material de relleno 15, se representa de forma similar como en la figura 4. El orificio 317 puede tener una configuración a modo de embudo para ayudar en la inserción del material de relleno 15 y/o el material de matriz 16. En otras formas de realización, el orificio 317 puede estar colocado en cualquier lugar en la cáscara 314, tal como si la cáscara 314 se colocara en una orientación diferente durante la soldadura con bronce.

La plancha de metal de la cáscara 314 puede estar fabricada de cualquier material capaz de ser formado o fabricado con una forma particular deseada y capaz de soportar disolución, fusión, o debilitamiento indebido por el material de infiltración, o generalmente por las temperaturas requeridas para la soldadura con bronce por infiltración, durante el proceso de infiltración. En un ejemplo, la cáscara 314 puede estar formada de acero "dulce" bajo en carbono. Por ejemplo, la cáscara 314 puede tener un grosor de la cáscara promedio de aproximadamente 0,25 cm (0,105 pulgadas). En una forma de realización, la cáscara 314 puede estar fabricada de plancha de metal en la gama desde 16 Ga (0,15 cm (0,060 pulgadas) de grueso) hasta 10 Ga (0,34 cm (0,135 pulgadas) de grueso), la cual puede ser útil para una amplia gama de aplicaciones. Por el contrario, el sustrato 312 en la figura 20 puede tener un grosor que varíe desde 2,54 cm hasta 8,8 cm (1,000 hasta 3,450 pulgadas) en la zona cubierta por la cáscara. En otras formas de realización, la cáscara 314 puede tener cualquier otro grosor adecuado. Por ejemplo, en formas de realización adicionales, la cáscara 314 puede estar fabricada de acero o bien otra plancha metálica que tenga un grosor de aproximadamente 0,63 cm (0,25 pulgadas), o puede ser de fundición, mecanizada a partir de material en barra o formada de una manera diferente. Se comprenderá que diferentes partes de la cáscara 314 pueden tener grosores diferentes.

La relativa delgadez de la cáscara 314 cuando se compara con el sustrato 312 significa que la cáscara 314 puede ser formada fácilmente, relativamente de forma barata. Para formas simples de una cáscara, una cáscara de coste relativamente bajo 314 puede estar fabricada mediante el corte de piezas de chapa de metal y soldando juntas estas piezas o por soldadura con bronce. Formas ligeramente más complicadas se pueden fabricar mediante el plegado de piezas de chapa de metal en configuraciones particulares y entonces soldando juntas las piezas de chapa de metal plegadas. Formas complejas se pueden fabricar mediante procesos de formación de chapa de metal tales como embutición profunda, formando mediante el proceso Guerin (formación con hule de caucho), hidroformación, y/o formación con explosivo. La fundición de precisión ("a la cera perdida") se puede utilizar también, aunque el coste del proceso de cera perdida a menudo puede ser poco económico. Para formas particularmente complicadas de la cáscara las piezas se pueden formar mediante uno o más de estos procesos y entonces juntarlas por soldadura o soldadura con bronce.

Como se representa en las figuras 19 - 20, la cáscara 314 está formada por dos piezas, que tienen una banda de conformación de dos piezas 320. Un cuerpo de la cáscara de dos piezas 316 de la cáscara 314 se pueden formar inicialmente a partir de una media pieza delantera 326 y una media pieza posterior 328 que tiene un reborde delantero 330 o un reborde trasero 332, respectivamente. El reborde delantero 330 se extiende transversalmente desde el borde posterior de la mitad delantera 326 y el reborde trasero 332 se extiende transversalmente desde el borde delantero de la media pieza posterior 328. El reborde delantero 330 se pueden unir al reborde trasero 332 por soldadura o soldadura con bronce con un material de bronce que tenga una temperatura de fusión más elevada que el material pretendido para la infiltración. La cáscara 314 puede tener una banda de conformación 320 configurada para ser colocada en contacto superficie a superficie con una parte de la superficie del sustrato 312 alrededor de la periferia entera de la cáscara 314, de tal modo que la cáscara 314 se conecta al sustrato 312 por soldadura o soldadura con bronce en por lo menos la banda de conformación 320, como se describe más adelante en este documento. En otras formas de realización, la cáscara 314 puede estar formada de una pieza individual (en la cual los rebordes 330, 332 pueden no estar presentes) o de un número mayor de piezas. La cáscara de dos piezas 314 se puede formar más fácilmente que una cáscara correspondiente de una pieza individual, en ciertas configuraciones. La cáscara de dos piezas 314 también se puede juntar más fácilmente a un sustrato correspondiente, en ciertas configuraciones, cuando se compara con una unión de este tipo con una cáscara de una pieza correspondiente.

La cáscara 314 se representa unida a una parte de un sustrato correspondiente 312 en forma de una punta, en la figura 20. Una geometría exterior para el sustrato 312 puede incluir un cuerpo principal 334 que define una superficie de unión 335 para soldadura o soldadura con bronce a la banda de conformación 320. El sustrato 312 puede estar provisto por lo menos de algunas ranuras o bien otros relieves para la unión del material duro, tal como una meseta 336 y las superficies que lo rodean. Un extremo distante del sustrato 312 puede estar conformado para definir un borde angular 344 y/o una cara redondeada 346. En otra forma de realización, el sustrato 312 puede no estar

provisto de ranura alguna o bien otro relieve para el material duro. Como se ve en la figura 20, la cáscara 314 se extiende suavemente alejándose de la banda de conformación 320, definiendo una cavidad 350 entre el sustrato 312 y la cáscara 314. La cavidad 350 define un grosor resultante del recubrimiento (no representado) unido al sustrato 312 y la geometría interior de la cáscara 314 define una última geometría exterior de la pieza terminada.

La cáscara de plancha de metal ligera 314 como se representa en las figuras 19 - 20 se puede mover rápidamente para una alineación precisa en un sustrato y entonces soldarla al sustrato, sin tener en cuenta la mayor parte de las orientaciones del sustrato. La cáscara de metal delgada es fácil de fijar de forma fiable al sustrato subyacente por soldadura o soldadura con bronce a alta temperatura, sin la necesidad de sujeción o fijaciones y la junta creada es hermética al fluido incluso a las altas temperaturas requeridas para la soldadura o la soldadura con bronce por infiltración. En cualquier tipo de infiltración de revestimiento con metal duro por infiltración que implique moldes, el material de soldadura con bronce de metal fundido debe permanecer en el interior del molde. Con las cáscaras de metal delgadas de la presente revelación, se consigue una fijación fiable al sustrato sin sujeciones o fijaciones adicionales. El conjunto resultante por lo tanto se coloca más fácilmente en un horno para la soldadura con bronce por infiltración, permitiendo una facilidad sustancialmente mayor de infiltración de revestimiento con metal duro de artículos pesados.

Se comprenderá que diversas características de los sistemas 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 descritas antes en este documento y representadas en las figuras, así como variaciones de las mismas, se pueden combinar e intercambiar dentro del ámbito de la presente invención. De forma similar, cualquiera de las técnicas de los procedimientos descritos antes en este documento, o variaciones de los mismos, se puede utilizar en conexión con cualquiera de los sistemas 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 descritos antes.

Las figuras 10 - 11 ilustran microfotografías de material compuesto 18 formado utilizando un sistema similar al sistema 100 de la figura 4 y utilizando un procedimiento como se ha descrito antes en este documento. Las figuras 10 - 11 ilustran un material de relleno de WC de fundición esférica 15 rodeado por un material de matriz de hierro dúctil 16. El material de matriz 16 incluye nódulos de grafito 25, lo cual es característico del hierro dúctil. Como se ve en las figuras 10 - 11 las formas esféricas de la mayoría de las partículas de WC 15 se han conservado, indicando una mínima reacción o disolución del material de relleno 15 con el material de matriz fundido 16. La figura 11 ilustra la interfaz 26 entre el material compuesto 18 y el material de matriz en exceso 19.

Los recubrimientos compuestos producidos según los sistemas y los procedimientos descritos en este documento presentan una resistencia al desgaste y una tenacidad excelentes. En un ejemplo, se prepararon muestras utilizando un sistema similar al sistema 100 de la figura 4 y utilizando un procedimiento como ha sido descrito antes en este documento, utilizando fundición esférica de WC, fundición triturada de WC y WC cementado con una matriz de hierro dúctil. Se prepararon muestras de fundición y WC cementado reforzado con aleaciones a partir de níquel y cobre por infiltración por vacío a 1177°C (2050°F) para comparar. También se utilizó acero D2 para comparar. Se llevaron a cabo pruebas de abrasión de arena seca con rueda de caucho (DSRW) (ASTM G65) en estas muestras, siguiendo el procedimiento A de ASTM G65. Las condiciones de las pruebas fueron las siguientes:

- Revoluciones totales: 6000
- Carga en la muestra: 13,6 kg (30 libras)
- Flujo de arena: 300- 400 g/min.

Se realizaron dos pruebas consecutivas de abrasión de arena seca con rueda de caucho en la misma zona de alerta de desgaste y la pérdida de masa durante la segunda prueba se tomó como representativa de la pérdida por desgaste abrasivo del material. Como se puede ver a partir de la tabla 1 a continuación, carburo de tungsteno de fundición esférica/hierro dúctil seguido por carburo de tungsteno de fundición triturado/hierro dúctil mostraron una resistencia a la abrasión excelente comparada con los otros materiales. Las muestras se prepararon como recubrimientos y los sustratos se extrajeron por mecanizado y rectificado a fin de exponer la superficie cerca del sustrato para la prueba.

Tabla 1: Datos de la prueba de abrasión de arena seca con rueda de caucho (DSRW) en diferentes materiales

Nº Muestra	Material de carburo	Pérdida de masa g	Densidad calculada, g/cc	Pérdida de volumen, mm <sup>3</sup>	Dureza Rockwell, HRC
1	Fundición esférica WC/Fe dúctil	0,03	12,18	2,46	50
2	Fundición triturada WC/Fe dúctil	0,06	12,18	4,93	45

3	Carburo cementado/Fe dúctil	0,19	10,95	17,35	57
4	Fundición esférica WC/Ni-7Cr3Fe-4,5Si-3,1B	0,19	12,58	15,10	55
5	Carburo cementado/ Ni-7Cr3Fe-4,5Si-3,1B	0,10	11,37	8,79	51
6	Fundición triturada WC/Ni-7Cr3Fe-4,5Si-3,1B	0,14	12,58	11,13	50
7	Fundición triturada WC/Cu	0,08	13,02	6,14	5
8	Carburo cementado/Cu	0,37	11,83	31,28	9
9	Acero de herramientas D2	0,25	7,8	32,05	60

5 Como se ve a partir de los resultados de la tabla 1 anterior, la utilización de hierro dúctil en combinación con fundición esférica de WC y fundición triturada de WC resultó en una pérdida de masa y volumen inferiores comparada con otras combinaciones. Adicionalmente, las combinaciones de WC y hierro dúctil tenían una dureza era comparable a las otras combinaciones. Adicionalmente, el hierro dúctil es considerablemente menos caro que las otras aleaciones de matriz probadas, particularmente las aleaciones de Ni y Cu. De acuerdo con ello, esta prueba ilustra la utilización ventajosa de una composición fabricada a partir de un material de matriz de hierro dúctil y material de relleno de WC utilizando los sistemas y los procedimientos según las formas de realización de la presente invención.

15 Las diversas formas de realización del sistema, procedimiento y producto descritas en este documento proporcionan beneficios y ventajas sobre la tecnología existente. Por ejemplo, el producto compuesto resultante presenta una resistencia al desgaste y una tenacidad excelentes, y se pueden fabricar económicamente. Como otro ejemplo, el sistema y procedimiento puede ser utilizado para aplicar un material resistente al desgaste a una gran variedad de sustratos diferentes, incluyendo sustratos metálicos forjados, fundición y metalurgia del polvo así como sustratos no metálicos tales como cerámicas o compuestos a partir de cerámica en tanto en cuanto el punto de fusión del material sea adecuado para el proceso de infiltración. Como otro ejemplo, la utilización de técnicas de soldadura con bronce permite que se consiga la formación del material y la unión al sustrato en una etapa individual. Adicionalmente, las técnicas de soldadura con bronce típicamente utilizan un tiempo más largo para la infiltración comparado con la fundición y otras técnicas, lo cual a su vez permite longitudes de infiltración más largas (hasta 20,3 cm - 25,4 cm (8 - 10") o mayores en algunas formas de realización). De acuerdo con ello también se pueden producir revestimientos más gruesos comparados con las técnicas existentes, incluyendo la fundición, así como otros procesos de revestimiento con metal duro tales como revestimiento por soldadura de arco transferida por plasma, pulverización térmica, etcétera. Como otro ejemplo, el sistema y el procedimiento puede utilizar un sobrecalentamiento inferior que otros procesos (por ejemplo, fundición), lo cual resulta en menos reacción entre el material de relleno y el material de matriz y microestructuras sólidas que presentan una resistencia al desgaste y tenacidad elevadas. Además, el menor grado de reacción permite tamaños más pequeños de partículas o múltiples tamaños de partículas, para ser utilizadas para el material de relleno, mediante lo cual se puede conseguir una densidad mayor del material de relleno duro. Como se ha descrito antes en este documento, también se puede conseguir un límite de influencia mayor del material de matriz y una resistencia al desgaste global mayor del material compuesto. Como otro ejemplo, la utilización de una atmósfera inerte en el sistema y el procedimiento minimiza o evita la oxidación de los componentes y puede controlar la evaporación de los elementos volátiles a partir del material de matriz, reduciendo las salpicaduras. Todavía otros beneficios y ventajas serán reconocidos por aquellos expertos en la técnica.

40 Diversas formas de realización y ejemplos alternativos han sido descritas e ilustradas en este documento. Una persona con conocimiento normal de la técnica apreciará las características de las formas de realización individuales y las posibles combinaciones y variaciones de los componentes. Una persona con un conocimiento normal de la técnica apreciará adicionalmente que cualquiera de las formas de realización puede estar provista en cualquier combinación con las otras formas de realización reveladas en este documento. Se comprenderá que la invención se puede realizar en otras formas específicas sin por ello salirse del espíritu o de las características centrales de la misma. Los ejemplos y las formas de realización presentes, por lo tanto, se tienen que considerar en todos los aspectos como ilustrativos y no restrictivos y la invención no está limitada a los detalles proporcionados en este documento. Términos relativos tales como "parte superior", "fondos", etc. como se utilizan en este documento se pretenden que sean con un propósito ilustrativo únicamente y no limiten en modo alguno las formas de realización. Nada en esta memoria se deben considerar que requiera una orientación tridimensional específica de las estructuras

a fin de que queden dentro del ámbito de esta invención, a menos que se indique específicamente en las reivindicaciones. También se advierte al lector que los dibujos adjuntos no están necesariamente dibujados a escala.

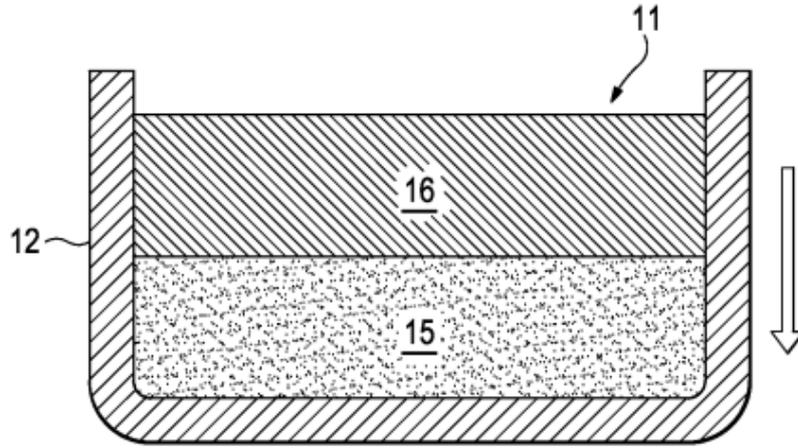
5 Adicionalmente, el término "pluralidad", como se utiliza en este documento, indica cualquier número mayor que uno, tanto disyuntivamente como conjuntivamente, como sea necesario, hasta un número infinito. Adicionalmente, "proporcionar" un artículo o aparato, como se utiliza en este documento se refiere ampliamente a fabricar el artículo disponible o accesible para que sean realizadas futuras acciones en el artículo, y no connota que la parte que proporciona el artículo haya fabricado, producido o suministrado el artículo o que la parte que proporciona el artículo haya tenido la propiedad o el control del artículo.

10

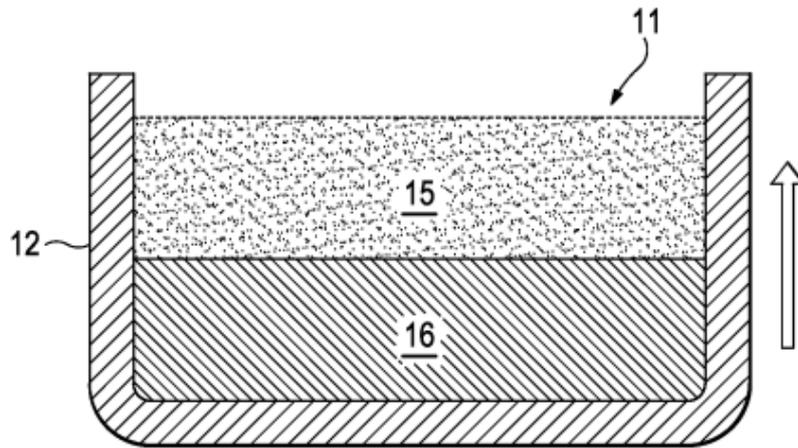
**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento que comprende: la colocación de un molde (12) próximo a una superficie de un sustrato (10), de tal modo que la superficie esté en comunicación con una cavidad del molde (12); la fijación del molde (12) al sustrato (10) mediante soldadura o soldadura con bronce; la colocación de un material resistente al desgaste poroso (15) en el interior de la cavidad (11), en estrecha proximidad de la superficie (14); la colocación de un material de matriz metálico (16) en comunicación con la cavidad (11), en donde el material de matriz comprende hierro dúctil; el calentamiento del molde (12) y el material de matriz (16) hasta una temperatura por encima del punto de fusión del material de matriz (16) y el mantenimiento de la temperatura por encima del punto de fusión durante un tiempo suficiente para que el material de matriz (16) se infiltre en el material resistente al desgaste en forma fundida y en contacto con la superficie (14) del sustrato (10); y el enfriamiento el molde (12) y el material de matriz para solidificar el material de matriz y formar un recubrimiento compuesto resistente al desgaste (18) que comprende el material resistente al desgaste (15) incorporado en el interior del material de matriz unido al sustrato (10) y al molde (12).
2. El procedimiento de la reivindicación 1 en el que el hierro dúctil del material de matriz (16) tiene una composición que consta, en porcentaje en peso, del 3,0 al 4,0 % de carbono, del 1,8 al 2,8 % de silicio, del 0,1 al 1,0 % de manganeso, del 0,01 al 0,03 % de azufre y del 0,01 al 0,1 % de fósforo con el resto siendo hierro y elementos incidentales e impurezas.
3. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el material resistente al desgaste (15) comprende uno o más materiales seleccionados a partir del grupo que consta de: carburos, nitruros, boruros, siliciuros, compuestos inter metálicos de metales de transición y combinaciones de los mismos.
4. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el recubrimiento compuesto (18) está formado en una pluralidad de superficies (14) del sustrato (10).
5. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4 en el que el recubrimiento compuesto (18) está formado en únicamente una parte de la superficie (14) del sustrato (10).
6. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el material resistente al desgaste poroso (15) está en forma de una preforma porosa formada de un material en partículas unidas juntas por sinterización o mediante un material de polímero para formar la preforma porosa.
7. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 5 en el que el material resistente al desgaste poroso (15) está en forma de un material en partículas sueltas.
8. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el molde (12) comprende una cáscara de chapa de metal (314) conectada al sustrato (10) para definir la cavidad (11), en el que la cáscara (314) tiene un orificio (317) hacia el exterior de la cáscara (314) y en el que el material resistente al desgaste poroso (15) se coloca en el interior de la cavidad (11) mediante inserción a través del orificio (317).
9. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el calentamiento se realiza en el interior de una cámara de horno (31), el procedimiento adicionalmente comprendiendo la formación de vacío en la cámara (31) antes de alcanzar la temperatura del punto de fusión del material de matriz (16).
10. El procedimiento de la reivindicación 9 adicionalmente comprendiendo: la introducción de un gas inerte dentro de la cámara (31) después de que el material de matriz (16) se haya fundido.
11. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el molde (12) tienen una parte permeable (33) en contacto con el material resistente al desgaste poroso (15), el procedimiento adicionalmente comprendiendo: la introducción de un gas inerte dentro de la cámara (31) antes de que el material de matriz (16) se haya fundido.
12. El procedimiento de la reivindicación 7 en el que el material resistente al desgaste en el interior de la cavidad son principalmente partículas de menos de 1 mm de tamaño.
13. El procedimiento de la reivindicación 1 en el que el recubrimiento tiene un grosor de por lo menos 19 cm (7,5 pulgadas).
14. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que la infiltración del material resistente al desgaste poroso (15) es infiltración vertical hacia arriba.
15. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el molde (12) y el material de matriz (16) se calientan hasta una temperatura de infiltración en la gama de 1175 °C hasta 1246 °C.

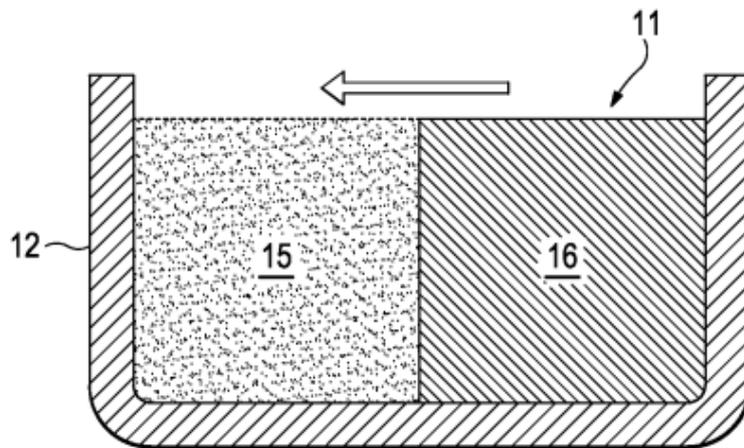
16. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el molde (12) comprende una cáscara de plancha de metal delgada (314) con una banda de conformación (320) para ser conectada al sustrato (312) por soldadura o soldadura con bronce.



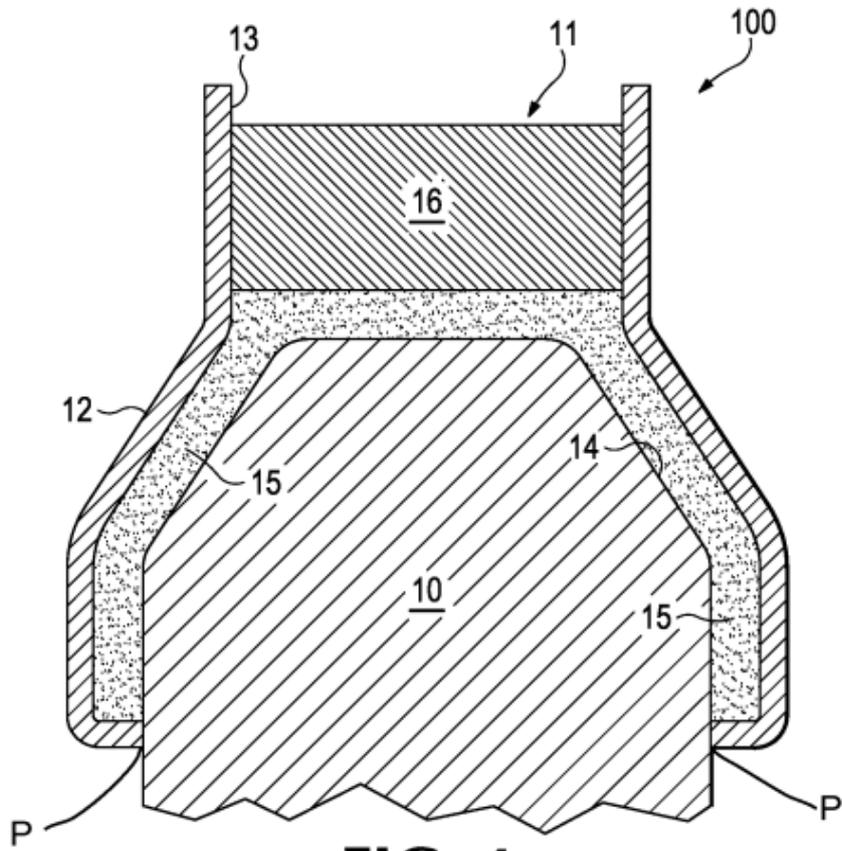
**FIG. 1**



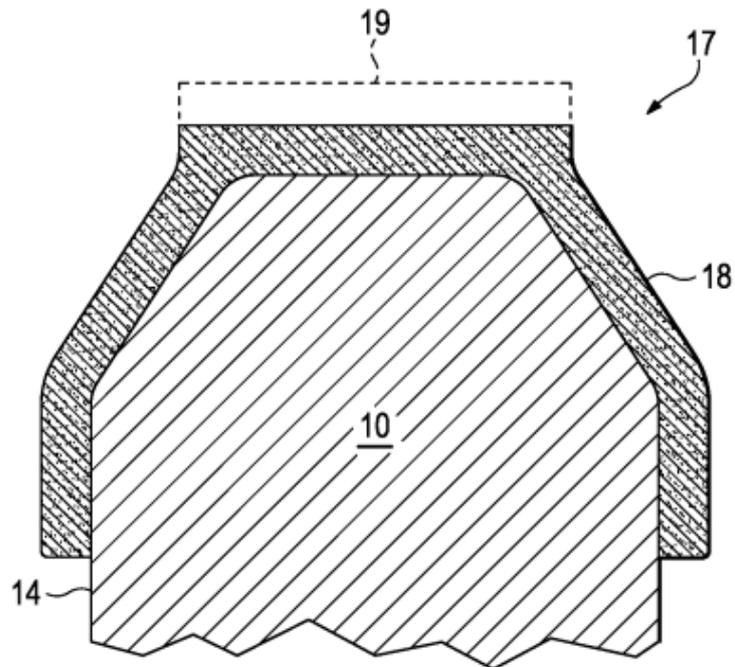
**FIG. 2**



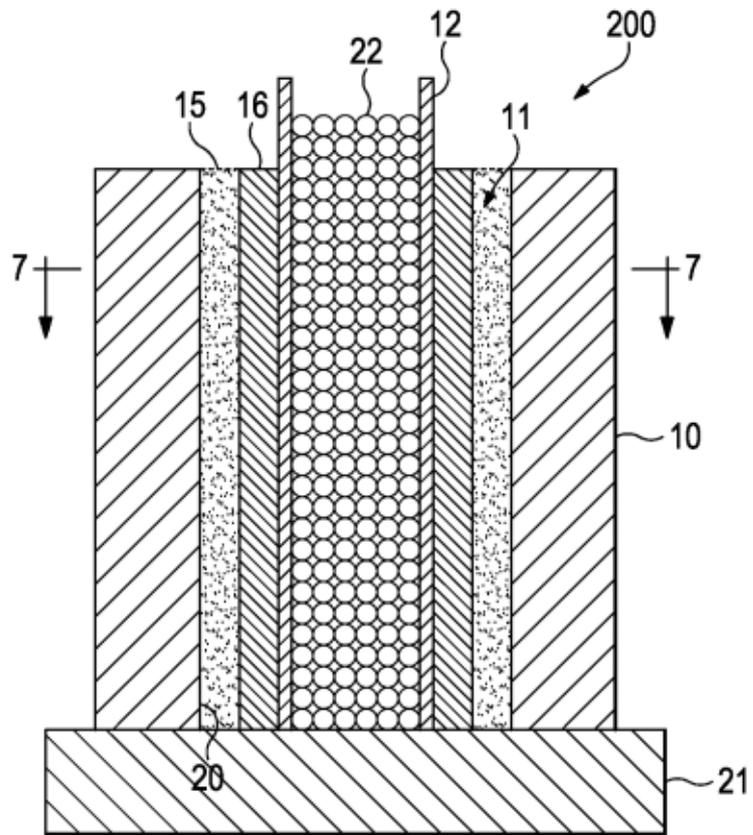
**FIG. 3**



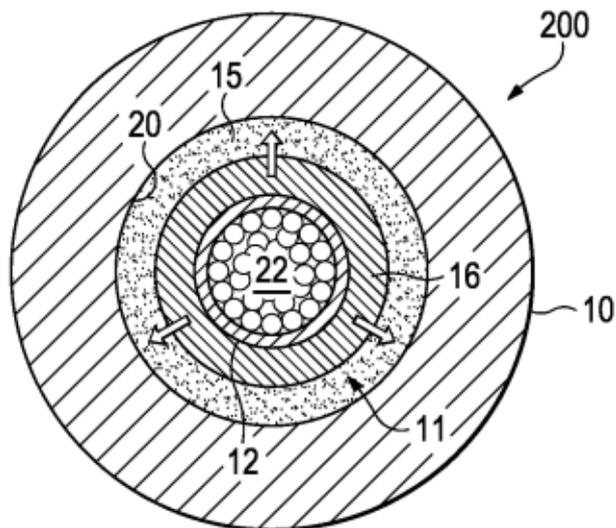
**FIG. 4**



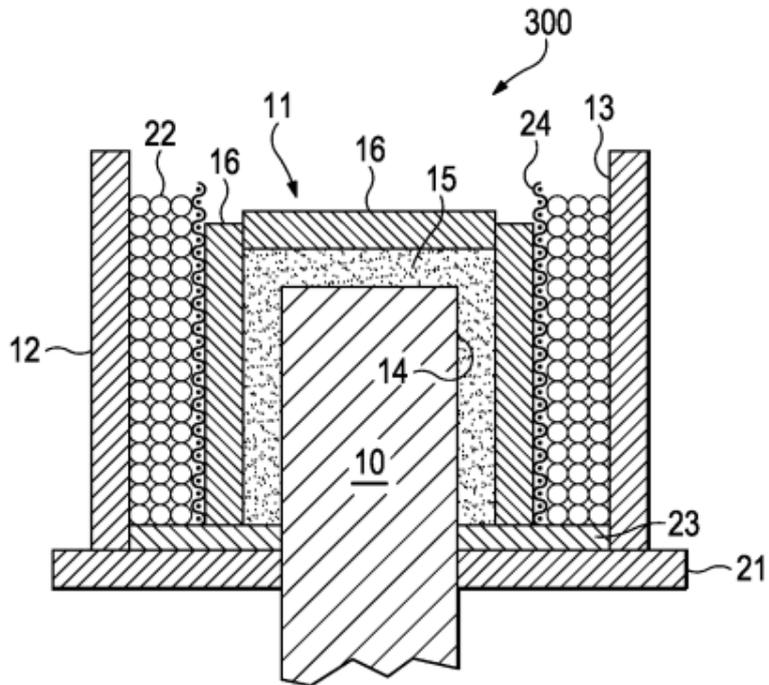
**FIG. 5**



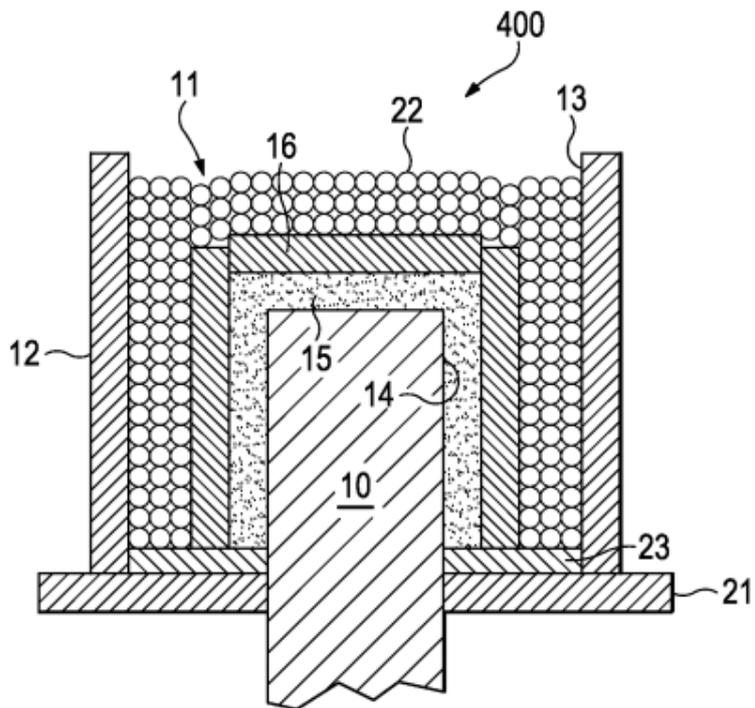
**FIG. 6**



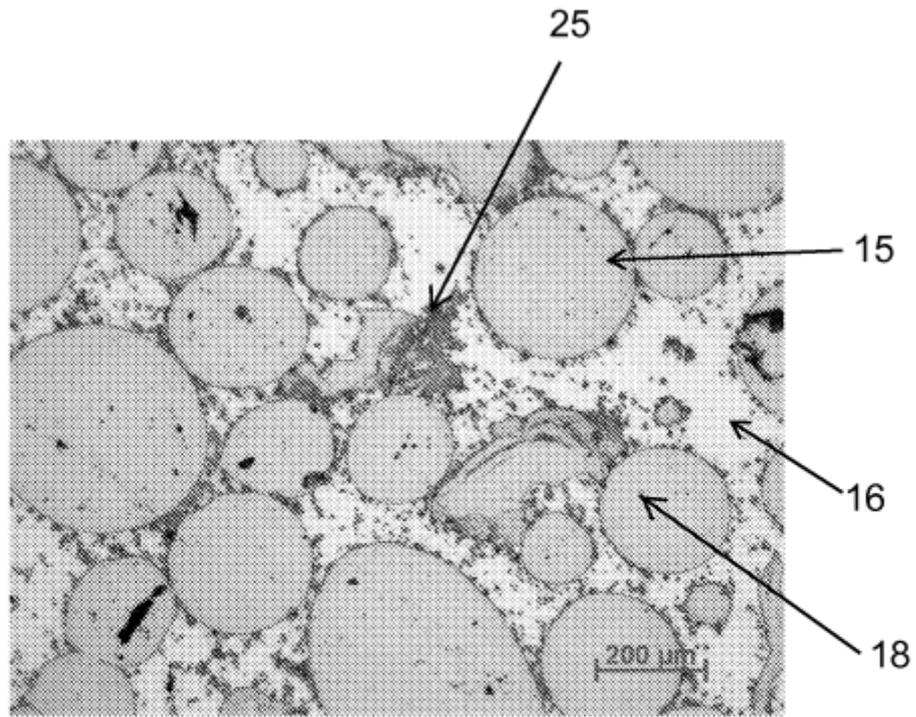
**FIG. 7**



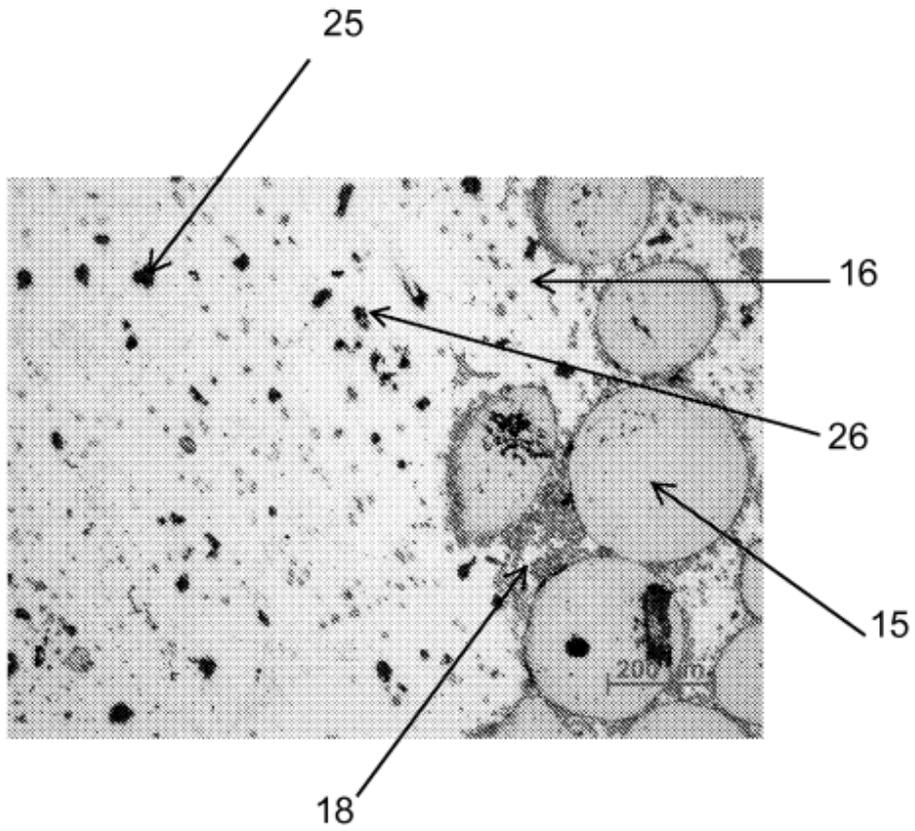
**FIG. 8**



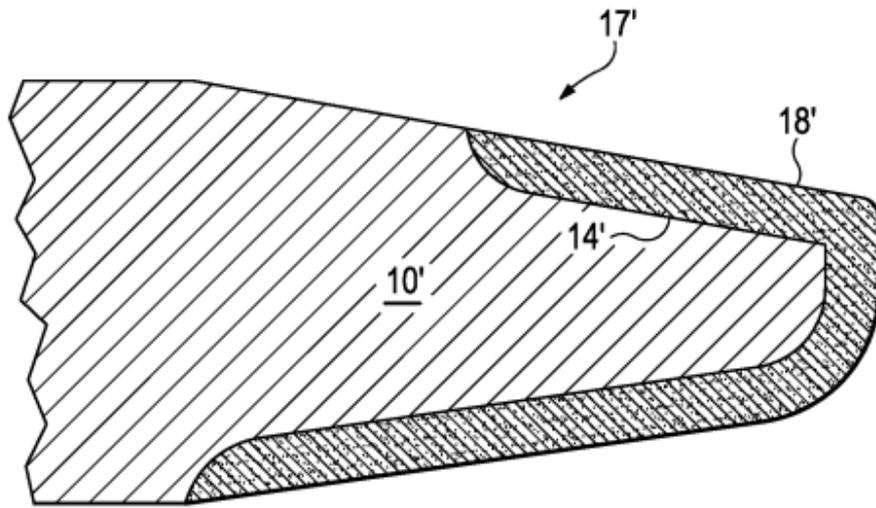
**FIG. 9**



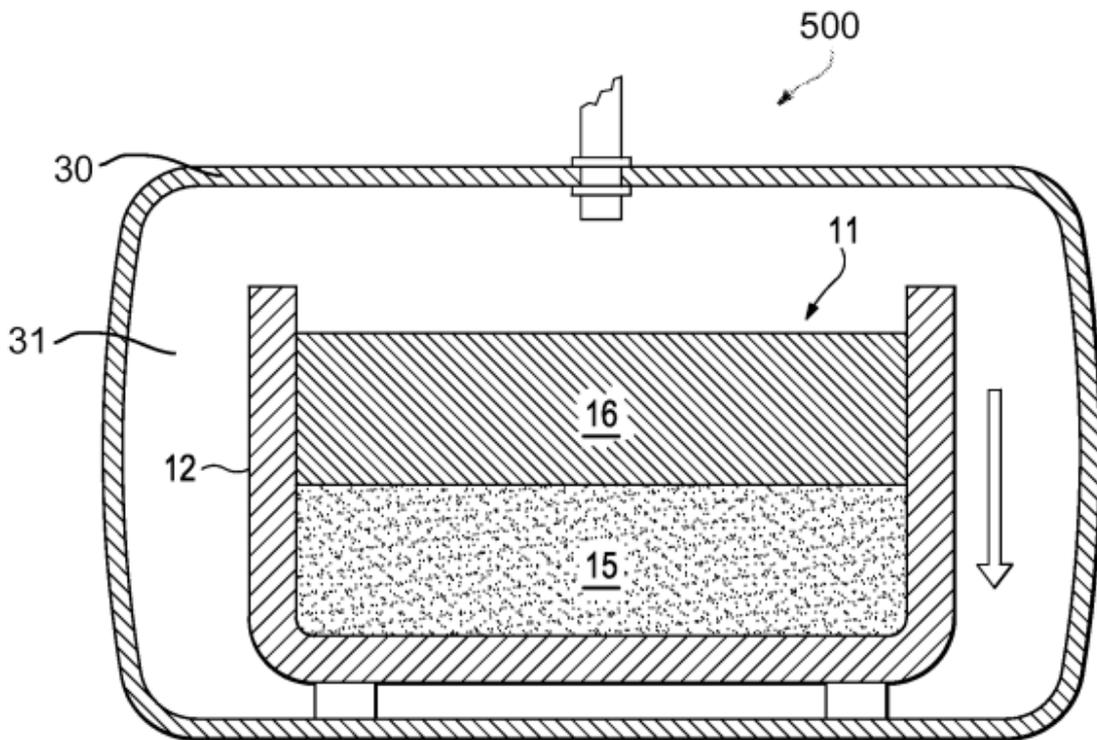
**FIG. 10**



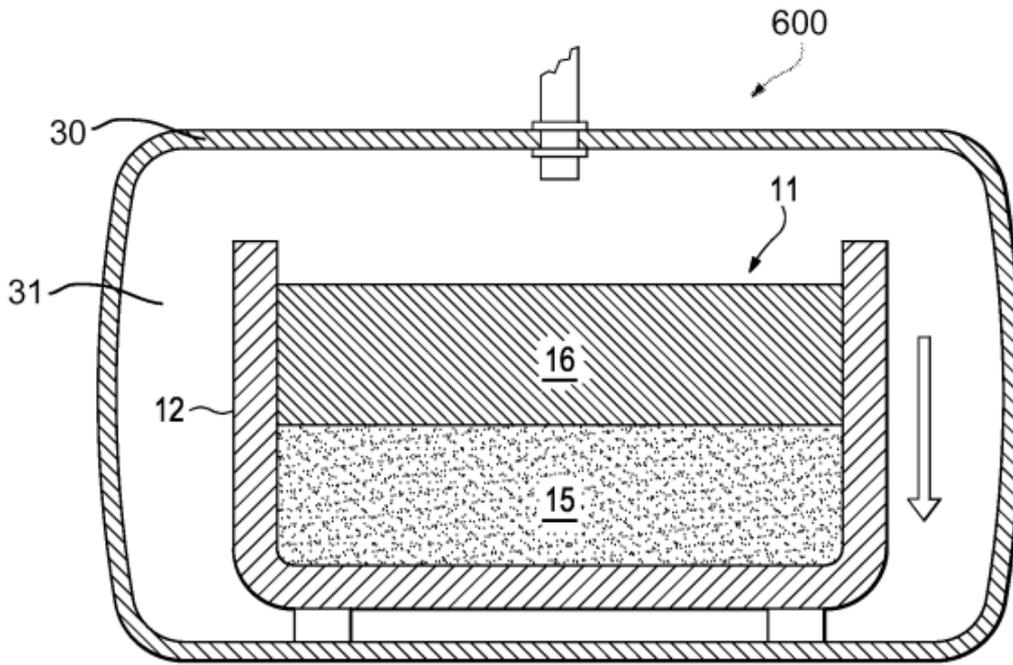
**FIG. 11**



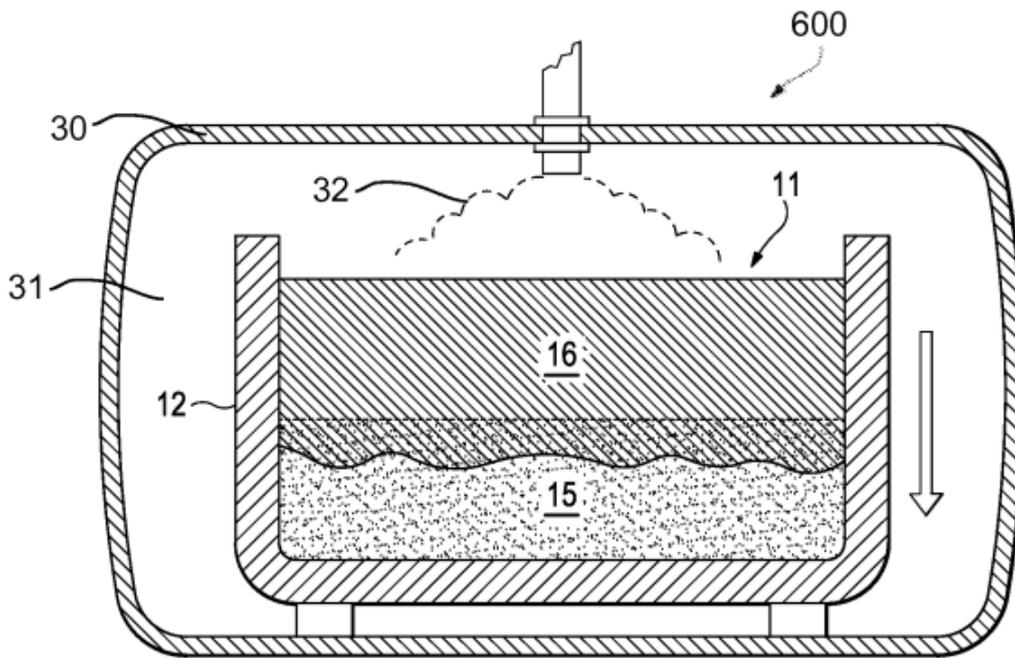
**FIG. 12**



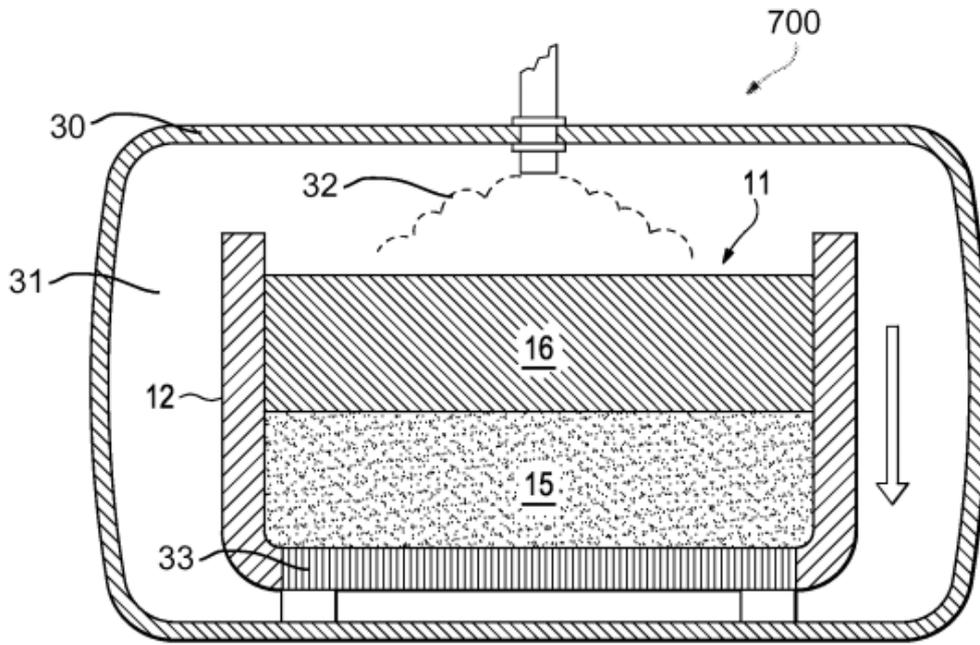
**FIG. 13**



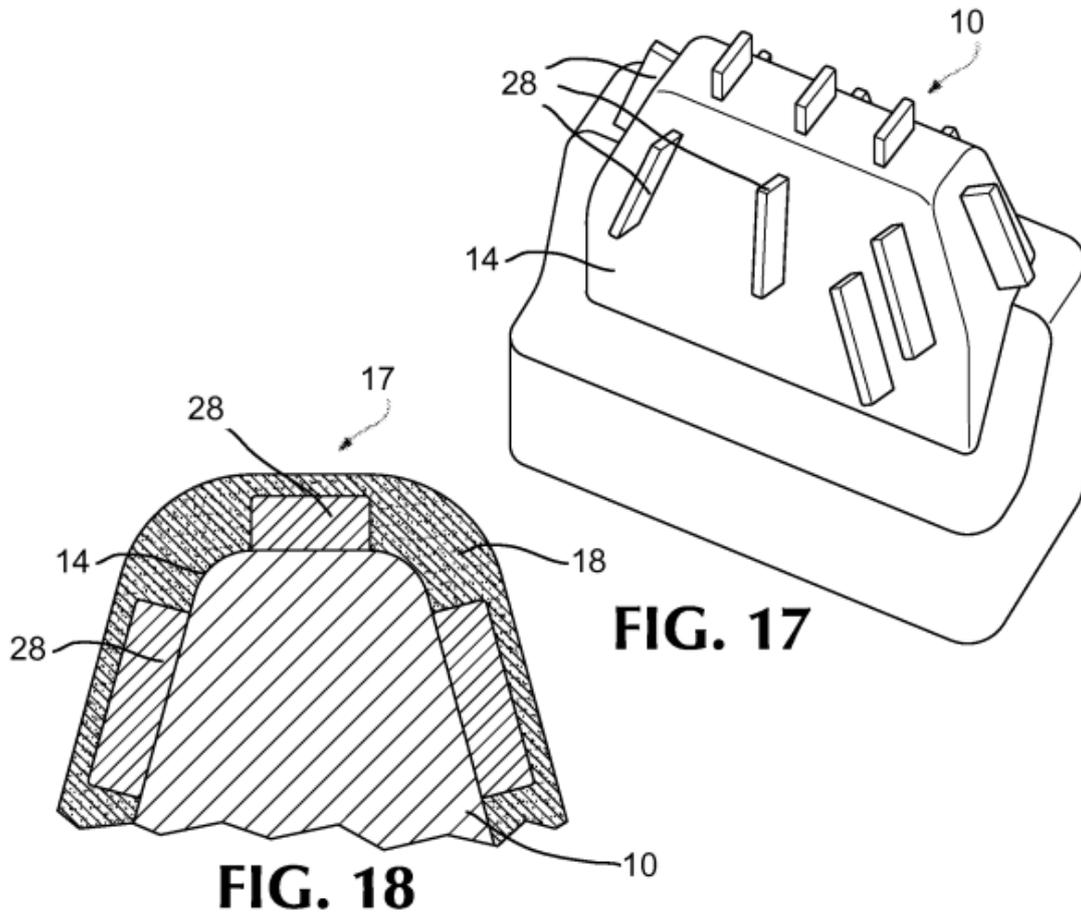
**FIG. 14**



**FIG. 15**

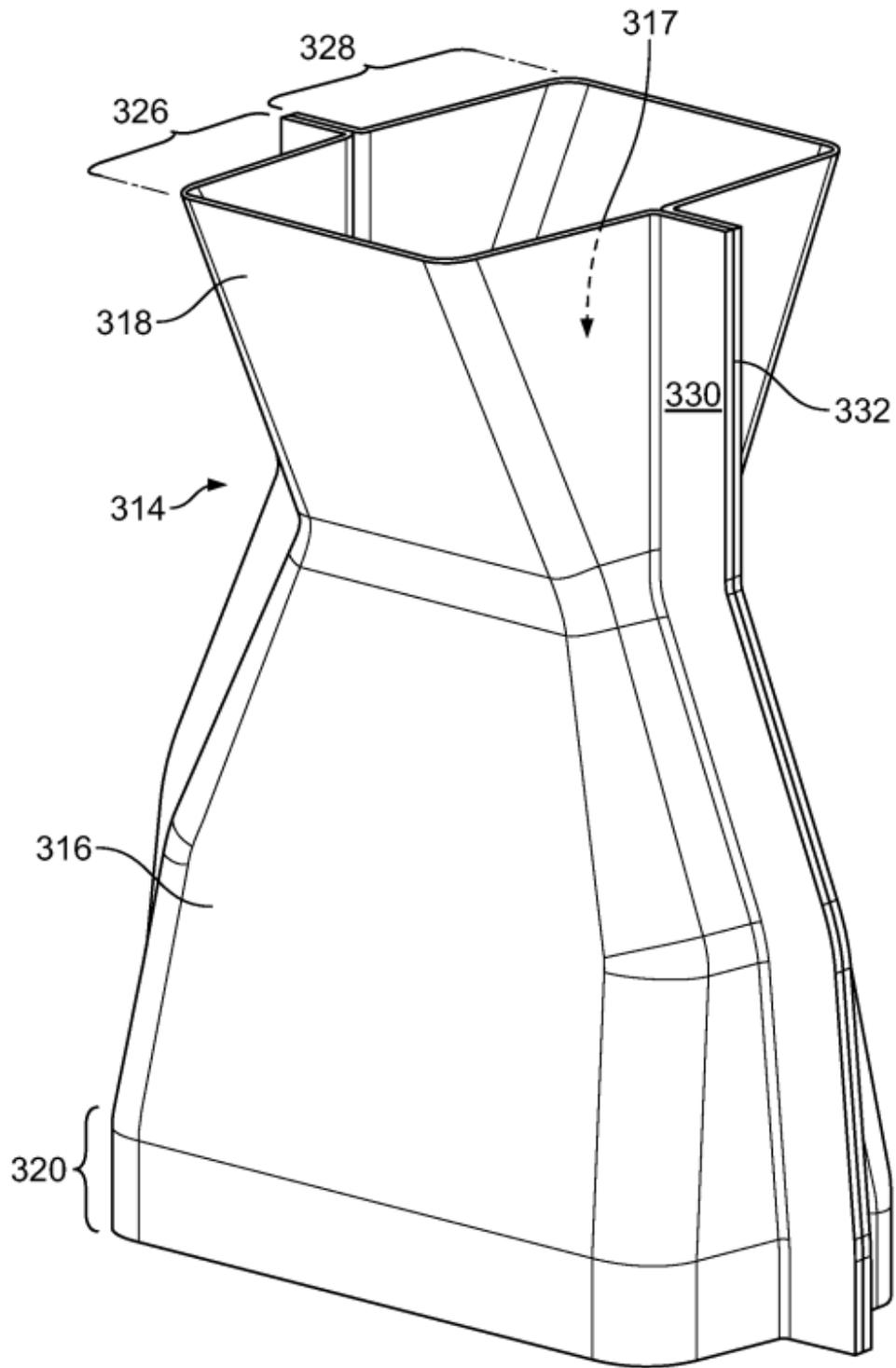


**FIG. 16**

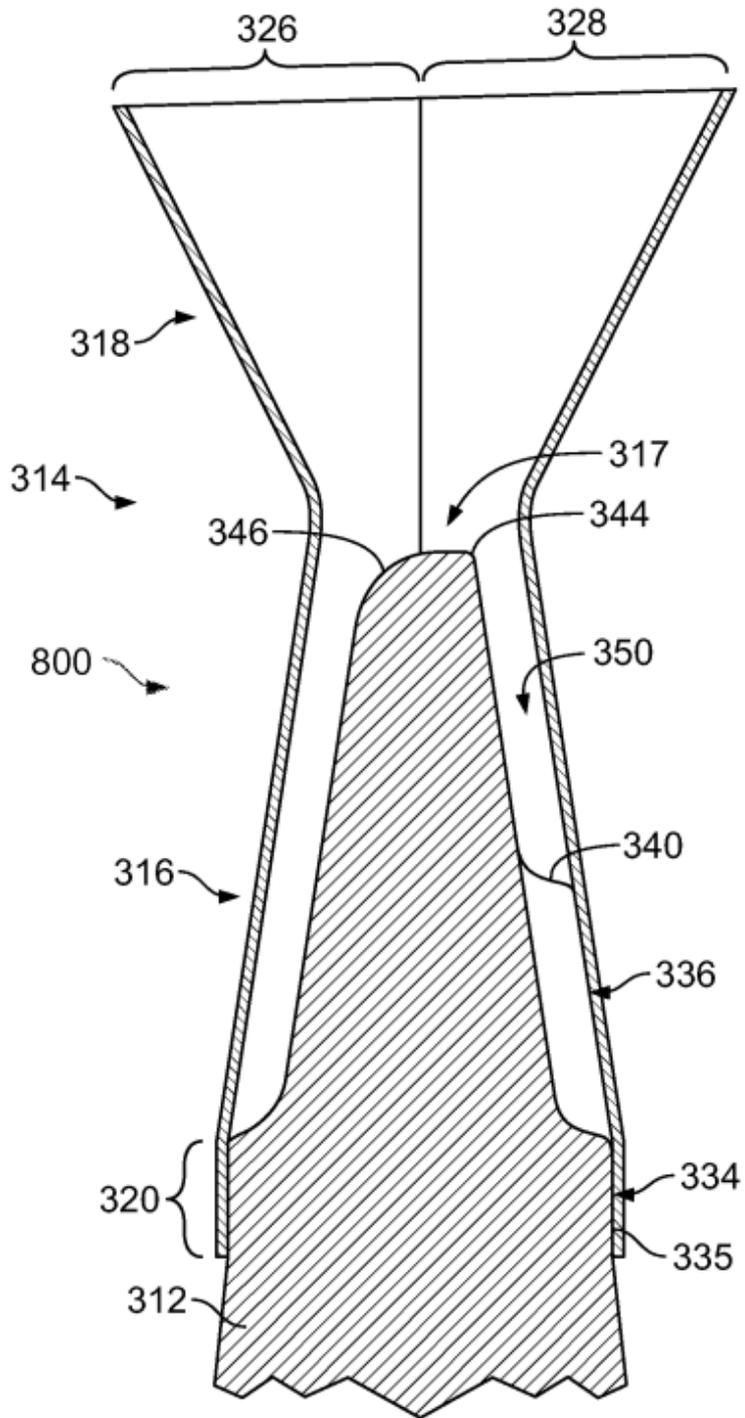


**FIG. 17**

**FIG. 18**



**FIG. 19**



**FIG. 20**