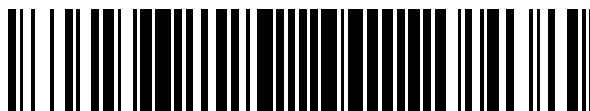


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 791 897**

51 Int. Cl.:

C09K 3/10

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.11.2009 PCT/US2009/063613**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.05.2010 WO10054241**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.11.2009 E 09825508 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2020 EP 2350222**

54 Título: **Sello termoplástico de gran diámetro**

30 Prioridad:

07.11.2008 US 112421 P
07.11.2008 US 112427 P
21.11.2008 US 116901 P
03.04.2009 US 166543 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.11.2020

73 Titular/es:

SAINT-GOBAIN PERFORMANCE PLASTICS CORPORATION (100.0%)
31500 Solon Road
Solon, OH 44139, US

72 Inventor/es:

CELIK, CEYHAN;
CLARK, SARAH, L.;
HILDRETH, GARY, CHARLES, JR;
JOSHI, HELINA;
VAIDEESWARAN, KARTHIK;
VALDENAIRE, CHRISTOPHE;
SOUSA, JOSE y
GHALAMBOR, HAMID REZA

74 Agente/Representante:

MORENO NOGALES, Ángeles

ES 2 791 897 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

Sello termoplástico de gran diámetro

5 CAMPO DE LA DIVULGACIÓN

Esta descripción se refiere en general a sellos termoplásticos, y en particular a sellos termoplásticos de gran diámetro.

ANTECEDENTES

10

Diversas industrias recurren cada vez más a equipos a gran escala para satisfacer sus demandas operativas. A medida que la industria va desarrollando equipos de gran escala, también va buscando componentes de gran escala, tales como sellos y juntas tóricas. A menudo, el equipo de gran escala se encuentra en entornos remotos y hostiles, lo cual incrementa la demanda de sellos resistentes y duraderos. Por ejemplo, la escala de los equipos utilizados en la industria del petróleo y el gas aumenta a medida que busca perforar en aguas más profundas y, como consecuencia, aumenta la demanda de productos a gran escala más duraderos que puedan aguantar en entornos hostiles. Sin embargo, los procedimientos convencionales para formar sellos termoplásticos no producen sellos de gran diámetro con propiedades mecánicas deseables.

15

20

Un método convencional incluye un moldeo por compresión. Los sellos moldeados por compresión convencionales tienen malas propiedades mecánicas, tales como un bajo alargamiento de rotura. Como consecuencia, los sellos formados mediante tales técnicas convencionales de moldeo por compresión tienden a tener una baja durabilidad y un mal rendimiento.

25

Otras técnicas convencionales limitan el tamaño de los sellos que se pueden elaborar y tienden a producir una cantidad significativa de desechos. Por ejemplo, se pueden cortar sellos circulares de una lámina extrudida de material termoplástico, lo cual deja una cantidad significativa de material de desecho. Además, el tamaño de los sellos está limitado por el ancho de la lámina de material termoplástico.

30

Por lo tanto, sería deseable un nuevo procedimiento de formación de un sello.

El documento US 6358348 B1 se refiere a un procedimiento de soldadura a tope de dos estructuras con forma generalmente de varilla de un material plástico que contiene flúor.

35

El documento US 2002/169237 A1 divulga una composición de resina que comprende (a) una resina de sulfuro de polifenileno y (b) una resina a base de olefina, en la que una cantidad de la (a) resina de sulfuro de polifenileno y la (b) resina a base de olefina representa un 80% en peso o más de la toda la composición de resina, y el contenido de la (b) resina a base de olefina es de 10 a 100 partes en peso en relación con 100 partes en peso de la (a) resina de sulfuro de polifenileno, y en la que el alargamiento a la tensión de rotura es del 20% o más.

40

El documento US 3207644 A se refiere a juntas revestidas soldadas a tope del tipo que tiene una resina de fluorocarbono, y a un procedimiento para fabricar las mismas.

El documento US 3994767 A se refiere a un aparato para formar artículos anulares a partir de piezas de trabajo alargadas de material termoplástico.

45

El documento US 2006/199911 A1 divulga juntas, revestimientos de tapón de botella y cierres que comprenden o se obtienen a partir de una composición que comprende al menos un interpolímero de etileno/alfa-olefina y al menos una poliolefina.

50

El documento GB 1 293 906 A se refiere a anillos de sellado elaborados a partir de una longitud de material plástico sintético que tiene una sección transversal generalmente correspondiente a la de los anillos. Los anillos de sellado pueden producirse como anillos circunferencialmente continuos en los que los extremos libres del material plástico sintético están soldados el uno al otro.

55

RESUMEN DE LA INVENCIÓN

El objeto de la presente invención es un anillo de sellado tal y como se define en la reivindicación 1. Las reivindicaciones dependientes se refieren a modos de realización particulares del mismo.

60

El anillo de sellado según la presente invención comprende una varilla extrudida doblada que tiene dos extremos y que comprende un material termoplástico, y una soldadura que une los dos extremos de la varilla extrudida doblada. El material termoplástico soldado tiene un alargamiento de rotura de soldadura de al menos un 20%, tal y como se determinó a través de ensayos de tracción de muestras soldadas de acuerdo con la norma ASTM D638. La soldadura está libre de huecos cuya dimensión máxima sea mayor que 0,4 mm.

65

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La presente divulgación se puede entender mejor, y sus numerosas características y ventajas pueden resultar evidentes para los expertos en la técnica, haciendo referencia a los dibujos adjuntos.

La Figura 1 y la Figura 2 incluyen ilustraciones de sellos ejemplares.

La Figura 3 y la Figura 4 incluyen diagramas de bloques de procedimientos ejemplares para formar sellos.

La Figura 5 incluye una ilustración de un dispositivo de formación.

La Figura 6 incluye una ilustración de un calefactor ejemplar.

La Figura 7 incluye una ilustración de un troquel ejemplar para cortar.

La Figura 8 incluye una ilustración de una varilla termoplástica ejemplar.

La Figura 9 incluye una ilustración de un material extrudido ejemplar.

La Figura 10 incluye una ilustración de un dispositivo de soldadura ejemplar.

El uso de los mismos símbolos de referencia en distintos dibujos quiere decir que los elementos son similares o idénticos.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

En un ejemplo particular, un procedimiento para formar un anillo de sellado incluye calentar una varilla extrudida, doblar la varilla extrudida, unir los extremos de la varilla extrudida para formar un anillo semiacabado y recocer el anillo semiacabado. El anillo semiacabado puede mecanizarse o procesarse adicionalmente para formar un anillo de sellado, un anillo anti-extrusión u otro dispositivo de sellado, denominados colectivamente anillos de sellado en el presente documento. En un ejemplo, unir los extremos de la varilla extrudida incluye soldar los extremos de la varilla extrudida fundiendo los extremos y apretando un extremo contra el otro. En particular, calentar las varillas extrudidas incluye calentar las varillas hasta una temperatura mayor que la temperatura de transición vítrea. Por ejemplo, las varillas extrudidas se pueden calentar hasta un índice de calor en un rango de 0,65 a 0,999. En otro ejemplo, el anillo semiacabado se recuece a una temperatura mayor que la temperatura de transición vítrea durante un período de al menos dos horas.

En un modo de realización ejemplar, un anillo de sellado incluye un material termoplástico extrudido que tiene un alargamiento de rotura de soldadura de al menos un 20% según la especificación de ensayo ASTM D638. El anillo de sellado tiene una circunferencia de al menos 1,5 m. Por ejemplo, el anillo de sellado puede tener un diámetro de al menos 1,3 m. En un ejemplo, el anillo de sellado incluye al menos una soldadura. En un ejemplo particular, el material termoplástico extrudido incluye un material termoplástico que tiene una temperatura de transición vítrea mayor que 100°C. En otro ejemplo, el material termoplástico extrudido tiene un coeficiente de fricción no mayor que 0,45. Además, el material termoplástico puede tener una resistencia a la tracción al límite de elasticidad de al menos 21,4 MPa (3100 psi).

Tal y como se ilustra en la Figura 1, un anillo de sellado 100 puede incluir una varilla termoplástica 102. En un ejemplo, la varilla termoplástica es una varilla termoplástica extrudida, tal como una varilla extrudida por fusión. En particular, la varilla termoplástica extrudida no se extruye como una pasta. Alternativamente, la varilla 102 puede ser una varilla moldeada por compresión. Los extremos de la varilla termoplástica 102 pueden unirse en una soldadura 104. En otro modo de realización ilustrado en la Figura 2, un anillo de sellado 200 puede incluir unas varillas termoplásticas 202 y 204. Las varillas termoplásticas 202 y 204 pueden unirse en sus extremos en unas soldaduras 206 y 208. Si bien los procedimientos descritos en el presente documento se describen generalmente en relación con anillos de sellado formados a partir de una única varilla doblada, los procedimientos pueden ampliarse para incluir anillos de sellado formados por más de una varilla termoplástica, por ejemplo, 2, 3, 4 o más varillas extrudidas.

La Figura 3 incluye una ilustración de un procedimiento ejemplar 300 para formar un anillo de sellado. El procedimiento incluye calentar una varilla termoplástica extrudida, tal y como se ilustra en el bloque 302. Alternativamente, la varilla puede ser una varilla moldeada por compresión. La varilla termoplástica puede formarse a partir de un material termoplástico, tal como un polímero termoplástico especialmente diseñado o de alto rendimiento. Por ejemplo, el material termoplástico puede incluir un polímero, tal como una policetona, una poliaramida, una poliimida termoplástica, una polieterimida, un sulfuro de polifenileno, una polietersulfona, una polisulfona, una polifenilensulfona, una poliamidaimida, un polietileno de peso molecular ultra alto, un fluoropolímero termoplástico, una poliamida, un polibencimidazol, un polímero de cristal líquido o cualquier combinación de los mismos. En un ejemplo, el material termoplástico incluye una policetona, una poliaramida, una poliimida, una polieterimida, una poliamidaimida, un sulfuro de polifenileno, una polifenilensulfona, un fluoropolímero, un polibencimidazol, un derivado de los mismos o una combinación de los mismos. En un ejemplo particular, el material termoplástico incluye un polímero, tal como una policetona, una poliimida termoplástica, una polieterimida, un sulfuro de polifenileno, una polietersulfona, una polisulfona, una poliamidaimida, un derivado de los mismos o una combinación de los mismos. En otro ejemplo, el material termoplástico incluye una

policetona, tal como la poliéter éter cetona (PEEK), la poliéter cetona, la poliéter cetona cetona, la poliéter cetona éter cetona cetona, un derivado de las mismas o una combinación de las mismas. Un ejemplo de fluoropolímero termoplástico incluye el etileno propileno fluorado (FEP), el politetrafluoroetileno (PTFE), el fluoruro de polivinilideno (PVDF), el perfluoroalcoxi (PFA), un terpolímero de tetrafluoroetileno, el hexafluoropropileno y el fluoruro de vinilideno (THV), el policlorotrifluoroetileno (PCTFE), un copolímero de etileno-tetrafluoroetileno (ETFE), un copolímero de etileno-clorotrifluoroetileno (ECTFE) o cualquier combinación de los mismos. Un polímero de cristal líquido ejemplar incluye polímeros de poliéster aromático, tales como los que se encuentran disponibles con los nombres comerciales XYDAR® (Amoco), VECTRA® (Hoechst Celanese), SUMIKOSUPER™ o EKONOL™ (Sumitomo Chemical), DuPont HX™ o DuPont ZENITE™ (E.I. DuPont de Nemours), RODRUN™ (Unitika), GRANLAR™ (Grandmont), o cualquier combinación de los mismos. En un ejemplo adicional, el polímero termoplástico puede ser un polietileno de peso molecular ultra alto. En este proceso se puede usar polietileno de peso molecular ultra alto a pesar de que su temperatura de transición vítrea sea de aproximadamente -160°C.

El material termoplástico también puede incluir un relleno, tal como un lubricante sólido, un relleno cerámico o mineral, un relleno de polímero, un relleno de fibra, un relleno de partículas metálicas o sales o cualquier combinación de los mismos. Un lubricante sólido ejemplar incluye el politetrafluoroetileno, el disulfuro de molibdeno, el disulfuro de tungsteno, el grafito, el grafeno, el grafito expandido, el nitruro de boro, el talco, el fluoruro de calcio, el fluoruro de cerio o cualquier combinación de los mismos. Adicionalmente, un relleno ejemplar cerámico o mineral incluye la alúmina, el sílice, el dióxido de titanio, el fluoruro de calcio, el nitruro de boro, la mica, la wollastonita, el carburo de silicio, el nitruro de silicio, la circonia, el negro de carbón, pigmentos o cualquier combinación de los mismos. Un relleno polimérico ejemplar incluye una poliimida, polímeros de cristal líquido, tales como el poliéster Ekonol®, el polibencimidazol, el politetrafluoroetileno, cualquiera de los polímeros termoplásticos mencionados anteriormente o cualquier combinación de los mismos. Una fibra ejemplar incluye fibras de nailon, fibras de vidrio, fibras de carbono, fibras de poliacrilonitrilo, fibras de poliaramida, fibras de politetrafluoroetileno, fibras de basalto, fibras de grafito, fibras cerámicas o cualquier combinación de las mismas. Los metales ejemplares incluyen el bronce, el cobre, el acero inoxidable o cualquier combinación de los mismos. Una sal ejemplar incluye un sulfato, un sulfuro, un fosfato o cualquier combinación de los mismos.

En un modo de realización ejemplar, la varilla puede formarse a partir de un material compuesto extrudido. Por ejemplo, el material compuesto puede formarse a partir de una matriz de material termoplástico y un relleno. En un ejemplo particular, el relleno es un lubricante sólido. En otro ejemplo, el relleno incluye un fluoropolímero. En otro ejemplo, el relleno incluye una combinación de un lubricante sólido y un fluoropolímero. En un modo de realización, el material compuesto incluye una matriz de una policetona, tal como la PEEK, e incluye un relleno de lubricante sólido. En otro modo de realización ejemplar, el material compuesto incluye una matriz de una policetona, tal como la PEEK, e incluye un relleno de un carbono que puede seleccionarse de entre el grafito, el negro de carbón, una fibra de carbono o cualquier combinación de los mismos.

En un modo de realización adicional, la varilla puede formarse parcialmente a partir de un material compuesto y formarse parcialmente a partir de un material sin relleno. Tal y como se ilustra en la Figura 8, una varilla 900 puede incluir una parte central 902 formada a partir de un material compuesto y puede incluir unas partes extremas 904 y 906 formadas a partir de un polímero sin relleno. Por ejemplo, la parte central 902 puede ser un polímero relleno, tal como un material de PEEK relleno de PTFE, y las partes extremas 904 y 906 pueden formarse a partir de un polímero sin relleno, tal como PEEK pura. En un modo de realización particular, una varilla, tal como la varilla 900 de la Figura 8, puede formarse a partir de un material extrudido que tiene una composición que cambia a lo largo de un eje longitudinal. Por ejemplo, la Figura 9 incluye una ilustración de un material extrudido 1000 que incluye unas partes compuestas 1002 y unas partes sin relleno 1004. En un ejemplo, el material extrudido 1000 se puede cortar en las partes sin relleno 1004 para formar una varilla, tal como la varilla 900 de la Figura 8. En un ejemplo particular, el material extrudido 1000 puede formarse extruyendo dos materiales a través de una única matriz y variando la velocidad de extrusión de los dos materiales de manera opuesta.

En un ejemplo, calentar la varilla extrudida incluye calentar la varilla extrudida hasta una temperatura mayor que la temperatura de transición vítrea del material termoplástico de la varilla. En particular, la varilla termoplástica puede calentarse hasta una temperatura mayor que la temperatura de transición vítrea, pero menor que el punto de fusión del material termoplástico. Por ejemplo, la varilla termoplástica extrudida puede calentarse hasta un índice de calor en un rango de 0,60 a 0,999. El índice de calor es una relación de la temperatura a la que se calienta un material dividida por el punto de fusión. En otro ejemplo, el índice de calor puede encontrarse en un rango de 0,70 a 0,999, tal como un rango de 0,8 a 0,999 o incluso un rango de 0,9 a 0,99.

En un ejemplo, el material termoplástico tiene un punto de fusión de al menos 250°C. Por ejemplo, el material termoplástico puede tener un punto de fusión de al menos 300°C, tal como de al menos 320°C. Además, el material termoplástico puede tener una temperatura de transición vítrea de al menos 100°C, tal como de al menos 125°C o incluso de al menos 145°C. La excepción a esto es un polietileno de peso molecular ultra alto, que tiene una temperatura de transición vítrea de -160°C y un punto de fusión de 135°C.

Volviendo a la Figura 3, una vez calentada, la varilla termoplástica extrudida se dobla, tal y como se ilustra en el bloque 304. Por ejemplo, mientras la varilla termoplástica está a una temperatura mayor que la temperatura de transición vítrea, la varilla puede doblarse hasta adoptar una forma deseada. En un ejemplo, la varilla puede aplicarse entre un sistema de tres rodillos. En otro ejemplo, la varilla puede doblarse y colocarse en un molde. En otro ejemplo más, la varilla puede

sujetarse a un molde circular y doblarse a través de la rotación del molde. En la Figura 5 se ilustra un mecanismo ejemplar para doblar la varilla termoplástica, que se describe con más detalle a continuación.

En un ejemplo particular, la varilla es una varilla recta. Además, la varilla puede tener una sección transversal, tal como una sección transversal circular o una sección transversal poligonal. En un ejemplo, la sección transversal es una sección transversal poligonal, tal como un polígono con al menos cuatro lados. En particular, el polígono puede ser un rectángulo o un cuadrado. Como alternativa al calentamiento y al doblado, una varilla extrudida puede extrudirse en forma de arco y los extremos del arco unirse para formar el dispositivo de sellado. En otra alternativa, se pueden cortar arcos de láminas de material, tales como láminas extrudidas o láminas moldeadas por compresión, y unirse los extremos de los arcos.

Una vez doblados, los extremos de la varilla se unen, tal y como se ilustra en el bloque 306 de la Figura 3. Por ejemplo, los extremos primero y segundo de una varilla pueden unirse el uno al otro. En otro ejemplo, los extremos de la varilla pueden unirse a los extremos respectivos de otra varilla u otras varillas. Los extremos de la varilla pueden unirse mediante soldadura de fusión en caliente, moldeo por inyección, adhesión, soldadura ultrasónica o cualquier combinación de los mismos. En un ejemplo particular, los extremos de la varilla se unen mediante soldadura por fusión en caliente. Por ejemplo, la soldadura por fusión en caliente puede incluir aplicar una fuente de calor a los extremos de la varilla para fundir partes de la varilla que estén cerca de los extremos y, una vez fundidos, apretar un extremo contra el otro. En ejemplo así, los extremos de la varilla se funden sin fundir toda la varilla.

Una vez unidos, la varilla extrudida forma un anillo semiacabado. El anillo semiacabado puede recocerse, tal y como se ilustra en el bloque 308. En un ejemplo, el anillo semiacabado se recuece a una temperatura mayor que la temperatura de transición vítrea del material termoplástico. El anillo semiacabado puede recocerse durante un período de al menos 2 horas. El anillo semiacabado puede mecanizarse o procesarse adicionalmente para formar un anillo de sellado.

En otro ejemplo más, la Figura 4 ilustra un procedimiento ejemplar 400 que incluye calentar una varilla extrudida, tal y como se ilustra en el bloque 402. Por ejemplo, la varilla extrudida puede incluir un material termoplástico, tal como el PEEK. La varilla puede ser una varilla recta. En un ejemplo, el PEEK puede tener un punto de fusión de aproximadamente 343°C. La varilla extrudida se puede calentar hasta una temperatura en un rango de 200°C a 342°C. En un ejemplo particular, la varilla extrudida se calienta en un horno de aire caliente.

Una vez calentada, la varilla extrudida puede doblarse, tal y como se ilustra en el bloque 404. Por ejemplo, la varilla se dobla mientras la varilla termoplástica está a una temperatura mayor que la temperatura de transición vítrea, preferiblemente con un índice de calor en el rango de 0,6 a 0,999. En un ejemplo particular, la varilla puede insertarse en una máquina formadora, tal como la máquina ilustrada en la Figura 5, y doblarse en la forma deseada.

Por ejemplo, la Figura 5 incluye una ilustración de una máquina formadora 500 ejemplar. La máquina formadora 500 incluye un molde circular 502 que pivota alrededor de un eje 503. Alrededor de la circunferencia del molde circular 502 hay una ranura 504 para enganchar un artículo 506. En particular, el artículo 506 puede fijarse a la ranura mediante una abrazadera 508. Además, la máquina formadora 500 puede incluir un conjunto de rodillos 510 distribuidos alrededor de la circunferencia del molde circular 502. Un eje de un rodillo 510 puede unirse a carros que discurren por unos carriles 512 o varillas de guía. En consecuencia, los rodillos 510 pueden acoplarse al molde circular 502 o pueden desacoplarse y alejarse del molde circular 502.

En uso, la abrazadera 508 asegura un artículo 506 al molde circular 502. El molde circular 502 gira y la abrazadera 508 gira con el molde circular 502, arrastrando el artículo 506 alrededor de la circunferencia del molde circular 502 y adentro de la ranura 504. A medida que la abrazadera 508 pasa por delante de un rodillo 510, el rodillo 510 se acopla al artículo 506 y al molde circular 502, aplicando una fuerza radial sobre el artículo 506. En consecuencia, el artículo 506 se conforma en una estructura de arco que se puede usar para formar un anillo de sellado. En otro ejemplo, el molde circular 502 puede calentarse para calentar el artículo 506 por conducción. En otro ejemplo, el doblado se puede realizar en un ambiente calentado, tal como un horno.

Volviendo a la Figura 4, la varilla extrudida doblada se deja enfriar, tal y como se ilustra en el bloque 406. Por ejemplo, la varilla extrudida doblada puede enfriarse hasta una temperatura inferior a la temperatura de transición vítrea. En particular, la varilla extrudida doblada se puede dejar enfriar hasta una temperatura cercana a la temperatura ambiente. En un ejemplo, la varilla doblada se enfría por convección forzada. Posteriormente, la varilla doblada puede sacarse del molde.

En un ejemplo, el grosor de la sección transversal de la varilla extrudida, que se convierte en el grosor radial una vez doblada, puede ser inferior a 1/5 o al 20% del diámetro exterior de un círculo definido por el arco de la varilla extrudida doblada. Por ejemplo, el diámetro exterior del círculo que incluye un arco definido por la varilla doblada puede ser al menos 5 veces el grosor radial de la varilla, tal como al menos 10 veces el grosor radial o incluso al menos 20 veces el grosor radial. En un modo de realización particular, el grosor radial es de al menos 25,4 mm (1 pulgada), tal como de al menos 50,8 mm (2 pulgadas).

La sección transversal de la varilla extrudida puede tener la forma de un círculo o la forma de un polígono. En particular, el polígono puede tener al menos tres lados, tal como al menos cuatro lados. En un ejemplo, el polígono tiene cuatro lados en sección transversal, tal como un rectángulo o un cuadrado. En un ejemplo particular, el área de la sección transversal

de la varilla es de al menos 6,45 cm² (1 sq in), tal como de al menos 12,90 cm²(2 sq in) o incluso de al menos 19,35 cm² (3 sq in). Además, el área de la sección transversal no puede ser mayor de 322,6 cm² (50 sq in).

En preparación para unir los extremos de la varilla, opcionalmente la varilla puede secarse, tal y como se ilustra en bloque 408. Por ejemplo, la varilla puede calentarse hasta una temperatura superior a 100°C. En un ejemplo particular, la varilla puede calentarse hasta una temperatura de al menos aproximadamente 110°C, tal como de al menos 130°C, o incluso de al menos aproximadamente 145°C durante un período de al menos una hora, tal como al menos dos horas, o incluso tres horas o más. Alternativamente, la varilla puede sacarse del molde en estado caliente, pero por debajo de su temperatura de transición vítrea. Mientras la varilla está en estado caliente, los extremos se pueden unir, tal como a través del proceso de soldadura por fusión descrito a continuación, que sirve para mantener la varilla en estado seco sin necesidad de realizar un paso adicional de secado.

Una vez seca, los extremos de la varilla extrudida se pueden unir, tal como por soldadura por fusión. En un ejemplo, los extremos de la varilla se funden, tal y como se ilustra en el bloque 410, y se aprietan el uno contra el otro, tal y como se ilustra en el bloque 412, para formar un anillo semiacabado. En un ejemplo, los extremos se funden usando una fuente de calor. Por ejemplo, la fuente de calor puede ser una fuente de calor de contacto en la que ambos extremos entran en contacto con la fuente de calor y se funden por conducción. En un ejemplo, la fuente de calor de contacto es una placa plana calentada. En otro ejemplo, la fuente de calor puede ser una fuente de calor sin contacto, tal como una fuente de calor radiante o una fuente de calor convectiva. Alternativamente, los extremos pueden unirse usando técnicas tales como técnicas de radiofrecuencia, que incluyen técnicas de microondas, técnicas inductivas, técnicas láser o cualquier combinación de las mismas.

La Figura 10 y la Figura 6 incluyen ilustraciones de un aparato de soldadura por calor ejemplar. Por ejemplo, tal y como se ilustra en la Figura 10, el aparato de soldadura por calor 600 puede incluir un par de dispositivos de fijación 602 y 604 para asegurar unos extremos respectivos 606 y 608 de una varilla termoplástica doblada. Los dispositivos de fijación 602 y 604 pueden guiarse a lo largo de unos carriles 610 y 612 para mover los extremos 606 y 608 el uno hacia el otro. Los dispositivos de fijación 602 y 604 pueden ser movidos a lo largo de los carriles 610 y 612 por unos mecanismos de accionamiento 614 y 616. En un ejemplo, los mecanismos de accionamiento 614 y 616 pueden ser servomotores con células de carga para controlar la fuerza suministrada a los extremos 606 y 608. Alternativamente, los mecanismos de accionamiento 614 y 616 pueden incluir dispositivos hidráulicos, electromecánicos, inductivos, neumáticos u otros dispositivos motrices. Además, el aparato de soldadura 600 puede incluir un brazo 622 que se extiende hasta un diámetro exterior del anillo en una ubicación 620. El brazo 622 puede restringir el diámetro exterior del anillo, por ejemplo, para formar una forma circular en comparación con una forma ovalada o de huevo. Por ejemplo, el brazo 622 puede aplicar una fuerza radial al anillo, tal como una fuerza dirigida hacia un centro radial del anillo. Alternativamente, se puede usar más de un brazo para restringir el diámetro del anillo para formar una forma deseada, tal como un anillo circular, un anillo ovalado o un anillo con forma de huevo.

El aparato de soldadura por calor 600 puede incluir también un calefactor 618. En uso, el calefactor 618 puede moverse y meterse en la trayectoria de los extremos 606 y 608. En el caso de un calefactor de contacto, los extremos 606 y 608 pueden moverse para entrar en contacto con ambos lados del calefactor 618 para fundir los extremos 606 y 608. En otro ejemplo, el calefactor 618 puede ser un calefactor sin contacto. Un ejemplo de calefactor sin contacto se ilustra en la Figura 6. Por ejemplo, el calefactor sin contacto 700 puede incluir una fuente de calor 702, tal como una fuente de calor radiante o una fuente de calor convectiva. En un ejemplo, la fuente de calor 702 está separada de los extremos 606 y 608 por una placa 708. Los extremos se colocan cerca de la placa 708 y se calientan para formar una zona fundida con una interfaz plana entre las partes fundidas y no fundidas de los extremos 606 y 608. En un ejemplo, la placa 708 no incluye una abertura o cavidad. En el ejemplo ilustrado, el calefactor sin contacto 700 puede incluir opcionalmente una cavidad o abertura 704. Opcionalmente, el calefactor 700 puede incluir un labio 706 que rodea la cavidad o abertura 704. En un lado opuesto del calefactor 700 puede ubicarse una cavidad o abertura similar a la cavidad o abertura 704. Alternativamente, se puede usar más de una fuente de calor con una cavidad o abertura para fundir los extremos 606 y 608.

En uso, los extremos 606 y 608 pueden colocarse cerca de la placa 708 u, opcionalmente, insertarse en una cavidad o abertura 704 del calefactor 700, si la hubiera. Los extremos 606 y 608 no entran en contacto con la fuente de calor 702. Por ejemplo, los extremos 606 y 608 pueden estar dispuestos en una posición a menos de 5 mm de la fuente de calor 702, tal como a no más de 2 mm o incluso a no más de 1 mm de la fuente de calor 702. Una vez fundidos, los extremos 606 y 608 se retiran de la cavidad o abertura 704, si la hubiera. El calefactor 618 se retira de la trayectoria de las varillas 606 y 608, y las varillas 606 y 608 se aprietan la una contra la otra mediante los dispositivos de fijación 602 y 604 movidos por los mecanismos de accionamiento 614 y 616. Se pueden usar brazos para restringir el diámetro exterior del anillo durante el proceso de soldadura.

Volviendo a la Figura 4, los extremos de la varilla extrudida se pueden apretar el uno contra el otro a una presión de al menos 344,74 kPa (50 psi). Por ejemplo, la presión puede ser de al menos 517,11 kPa (75 psi), tal como de al menos 689,48 kPa (100 psi). En un ejemplo particular, el uso de una fuente de calor sin contacto y de las presiones deseables da como resultado una soldadura esencialmente libre de huecos que tiene una resistencia y una durabilidad deseables. Por ejemplo, los extremos se pueden apretarse el uno contra el otro con suficiente fuerza como para extrudir una parte del material por entre los extremos de la varilla. En un ejemplo, se funde una parte suficiente de ambos extremos de la varilla, y los extremos de la varilla se aprietan el uno contra el otro con suficiente fuerza como para extrudir material

equivalente a al menos 3,18 mm (1/8") de la varilla por cada 6,45 cm² (1 sq in) de sección transversal de la varilla. Por ejemplo, los extremos se pueden apretar el uno contra el otro para extrudir al menos 6,35 mm (1/4") de la varilla por cada 6,45 cm² (1 sq in) de sección transversal de la varilla, tal como al menos 12,7 mm (1/2") de la varilla por 6,45 cm² (1 sq in) de sección transversal de la varilla.

Mantener una presión más alta en la masa fundida que en el entorno circundante durante la soldadura puede reducir los huecos. Otros procedimientos para mantener una presión más alta incluyen reducir la presión circundante soldando en un entorno de vacío o restringir la capacidad del material fundido de extrudirse entre los extremos fundidos a medida que se aprietan el uno contra el otro. En particular, tales os proporcionan una soldadura libre de huecos, definida como una soldadura que está libre de huecos cuya dimensión máxima es mayor que 0,4 mm.

Una vez soldado, el anillo semiacabado se puede recocer, tal y como se ilustra en el bloque 414. Por ejemplo, el anillo semiacabado puede recocerse a una temperatura mayor que la temperatura de transición vítrea del material termoplástico extrudido durante un período de al menos dos horas, tal como de al menos cuatro horas o incluso de al menos seis horas. En un ejemplo particular, el anillo semiacabado puede secarse, por ejemplo, a una temperatura superior a 100°C, tal como una temperatura superior a 120°C, durante un período de al menos una hora, tal como al menos dos horas. La temperatura puede elevarse hasta la temperatura de recocido a una tasa en un rango de 5°C por hora a 15°C por hora, tal como de 8°C por hora a 12°C por hora. En particular, la temperatura de recocido puede ser al menos 1,2 veces la temperatura de transición vítrea, tal como al menos 1,5 veces o incluso al menos 1,7 veces la temperatura de transición vítrea, siempre que no se supere el punto de fusión. Una vez que se alcanza la temperatura de recocido, la temperatura puede mantenerse durante un período de al menos dos horas, tal como de al menos cuatro horas, de al menos seis horas o incluso de ocho horas o más. A continuación, el anillo se puede enfriar a una tasa controlada, tal como una tasa en un rango de 5°C por hora a 15°C por hora, tal como un rango de 8°C por hora a 12°C por hora, hasta una temperatura inferior a la temperatura de transición vítrea. El anillo semiacabado puede dejarse enfriar a temperatura ambiente. En un ejemplo, el anillo se deja en el horno con el horno apagado hasta que se alcance la temperatura ambiente.

Tal y como se ilustra en el bloque 416, las rebabas o el flujo de fusión pueden recortarse de la superficie exterior después del recocido. Por ejemplo, las rebabas o el flujo de fusión de las soldaduras pueden desbastarse o cortarse del anillo semiacabado. Alternativamente, las rebabas o el flujo de fusión pueden desbastarse o cortarse antes del recocido. Además, el anillo semiacabado puede mecanizarse para formar un anillo de sellado.

Además, el procedimiento de la Figura 4 puede incluir recortar los extremos de la varilla antes de unir los extremos. Por ejemplo, la varilla doblada puede cortarse en un arco uniforme y el arco puede usarse con otros arcos para formar el anillo de sellado. La Figura 7 incluye una ilustración de una plantilla 800 ejemplar para cortar varillas. En un ejemplo, la plantilla 800 incluye un dispositivo de fijación 802 para asegurar la varilla. El dispositivo de fijación 802 puede estar asegurado por unas monturas 808. Además, la plantilla 800 puede incluir una ranura de corte 804 a lo largo de la cual se puede hacer un corte. Opcionalmente, la plantilla 800 puede incluir una ranura de distancia 806 o una guía sobre la cual se puede asegurar un mecanismo de corte para garantizar que se haga un corte recto a través de la ranura de corte 804. En uso, se puede colocar una varilla doblada en el dispositivo de fijación 802. A través de la ranura de corte 804 puede guiarse un mecanismo de corte, tal como una sierra o una rueda abrasiva giratoria, puede guiarse para formar arcos uniformes y extremos uniformes de los arcos.

Como consecuencia, pueden formarse anillos de sellado con propiedades deseables a partir de materiales termoplásticos especialmente diseñados. En particular, los anillos de sellado formados mediante tales procedimientos pueden tener propiedades mecánicas deseables además de ser de gran circunferencia y diámetro. Por ejemplo, el procedimiento anterior es particularmente útil para la formación de anillos de sellado que tengan una circunferencia de al menos 0,62 m, tal como de al menos 1,0 m, de al menos 1,5 m, de al menos 2,0 m, de al menos 4,1 m, de al menos 4,5 m o incluso de al menos 4,8 m. En un ejemplo particular, el procedimiento puede usarse para formar un anillo de sellado que tenga un diámetro de al menos 0,2 m a partir de un material termoplástico. Por ejemplo, el anillo de sellado puede tener un diámetro de al menos 0,47 m, tal como de al menos 1,0 m, de al menos 1,3 m, de al menos 1,45 m o incluso de al menos 1,55 m. Además, o en un ejemplo alternativo, el anillo de sellado puede tener un diámetro no mayor que 3,0 m.

El anillo de sellado puede formarse a partir de un material termoplástico especialmente diseñado que tenga propiedades deseables. Por ejemplo, la varilla termoplástica puede formarse a partir de un material termoplástico, tal como un polímero termoplástico especialmente diseñado o de alto rendimiento. Por ejemplo, el material termoplástico puede incluir un polímero, tal como una policetona, una poliaramida, una poliiimida termoplástica, una polieterimida, un sulfuro de polifenileno, una polietersulfona, una polisulfona, una polifenilensulfona, una poliamidaimida, un polietileno de peso molecular ultra alto, un fluoropolímero termoplástico, una poliamida, un polibencimidazol, un polímero de cristal líquido o cualquier combinación de los mismos. En un ejemplo, el material termoplástico incluye una policetona, una poliaramida, una poliiimida, una polieterimida, una poliamidaimida, un sulfuro de polifenileno, una polifenilenosulfona, un fluoropolímero, un polibencimidazol, un derivado de los mismos o una combinación de los mismos. En un ejemplo particular, el material termoplástico incluye un polímero, tal como una policetona, una poliiimida termoplástica, una polieterimida, un sulfuro de polifenileno, una polietersulfona, una polisulfona, una poliamidaimida, un derivado de los mismos o una combinación de los mismos. En otro ejemplo, el material termoplástico incluye una policetona, tal como la poliéter éter cetona (PEEK), la poliéter cetona, la poliéter cetona éter cetona cetona, un derivado de las mismas o una combinación de las mismas. Un ejemplo de fluoropolímero termoplástico incluye el etileno propileno fluorado (FEP), el

5 politetrafluoroetileno (PTFE), el fluoruro de polivinilideno (PVDF), el perfluoroalcoxi (PFA), un terpolímero de tetrafluoroetileno, el hexafluoropropileno y el fluoruro de vinilideno (THV), el policlorotrifluoroetileno (PCTFE), un copolímero de etileno-tetrafluoroetileno (ETFE), un copolímero de etileno-clorotrifluoroetileno (ECTFE) o cualquier combinación de los mismos. Un polímero de cristal líquido ejemplar incluye polímeros de poliéster aromático, tales como los que se encuentran disponibles con los nombres comerciales XYDAR® (Amoco), VECTRA® (Hoechst Celanese), SUMIKOSUPER™ o EKONOL™ (Sumitomo Chemical), DuPont HX™ o DuPont ZENITE™ (E.I. DuPont de Nemours), RODRUN™ (Unitika), GRANLAR™ (Grandmont), o cualquier combinación de los mismos. En un ejemplo adicional, el polímero termoplástico puede ser un polietileno de peso molecular ultra alto. Además, el anillo de sellado puede formarse a partir de un material compuesto que incluye un material termoplástico y un relleno, tal como un fluoropolímero, un lubricante sólido o una combinación de los mismos.

15 El material termoplástico puede tener un punto de fusión de al menos 250°C. Por ejemplo, el punto de fusión puede ser de al menos 300°C, tal como de al menos 320°C. Además, el material termoplástico puede tener una temperatura de transición vítrea deseablemente alta, tal como una temperatura de transición vítrea de al menos 100°C. Por ejemplo, la temperatura de transición vítrea puede ser de al menos 125°C, tal como de al menos 145°C.

20 En otro ejemplo, el anillo de sellado puede tener un coeficiente de fricción no mayor que 0,45. Por ejemplo, el coeficiente de fricción puede ser no mayor que 0,4, tal como no mayor que 0,35 o incluso no mayor que 0,3. En particular, el coeficiente de fricción puede ser no mayor que 0,2, tal como no mayor que 0,1.

25 Además, el material termoplástico puede tener propiedades mecánicas deseables. Por ejemplo, el material termoplástico puede tener una resistencia a la tracción al límite de elasticidad de al menos 21,4 MPa (3.100 psi), tal como de al menos 68,9 MPa (10.000 psi) o incluso de al menos 103 MPa (15.000 psi). En otro ejemplo, el material termoplástico puede tener un módulo de tracción de al menos 0,69 GPa (100 ksi), tal como de al menos 5,16 GPa (750 ksi), de al menos 5,86 GPa (850 ksi) o incluso de al menos 6,89 GPa (1000 ksi). Además, el material termoplástico soldado tiene un alargamiento de rotura de soldadura deseable. El alargamiento de rotura de soldadura es de al menos un 20%, y puede ser incluso de al menos un 30%. El alargamiento de rotura de soldadura se determina mediante ensayos de tracción de muestras soldadas de acuerdo con la norma ASTM D638. Las muestras soldadas pueden o no recocerse.

30 En un ejemplo en el que el sello se forma a partir de un material compuesto que incluye el material termoplástico y al menos un fluoropolímero disperso dentro del material termoplástico, el material compuesto puede tener un alargamiento de rotura de soldadura de al menos un 3%. Por ejemplo, el alargamiento de rotura de soldadura puede ser de al menos un 5%, tal como de al menos un 8%, de al menos un 10%, de al menos un 15% o incluso de al menos un 18%. En un ejemplo, la resistencia a la tracción de soldadura es de al menos 40 MPa, tal como de al menos 50 MPa, de al menos 60 MPa o incluso de al menos 70 MPa. En particular, la resistencia a la tracción de soldadura del material compuesto es de al menos un 50% de la resistencia a la tracción de soldadura del material sin relleno, tal como de al menos un 60% o incluso de al menos un 70% de la resistencia a la tracción de soldadura del material sin relleno.

40 Tal y como se describe en relación con la Figura 1 y la Figura 2, el anillo de sellado puede incluir una soldadura. Dependiendo del tamaño del anillo y del número de juntas utilizadas para formar el anillo, el anillo de sellado puede incluir más de una soldadura, tal como dos soldaduras o incluso tres soldaduras o más.

45 El procedimiento de soldadura ejemplar también se puede utilizar para soldar arcos de materiales termoplásticos extrudidos o moldeados por compresión que se cortan de una plancha para crear un anillo semiacabado con propiedades deseables después de un recocido. Si bien soldadura se usa en el presente documento para denotar específicamente un procedimiento para calentar extremos de varillas y apretar los extremos el uno contra el otro, se pueden usar otras técnicas de unión para unir los extremos de varillas. Por ejemplo, otras técnicas de unión pueden incluir un moldeo por inyección para unir extremos, un tratamiento ultrasónico, un calentamiento por inducción o técnicas de irradiación, tales como una técnica láser o de microondas. Los extremos adheridos formados por soldadura se denominan en el presente documento soldadura y los extremos adheridos formados por soldadura u otra técnica de unión se denominan en el presente documento unión.

50 Además, la soldadura o unión de arcos o partes puede usarse para formar sellos circulares, ovalados, poligonales o de formas complejas. Por ejemplo, el sello puede tener una forma poligonal, tal como un triángulo, un cuadrado, un rectángulo, un pentágono, un hexágono, un heptágono, un octágono o cualquier combinación de los mismos. El polígono puede tener al menos cuatro lados, tal como al menos 6 lados, al menos 8 lados o incluso al menos 10 lados. En otro ejemplo, una forma compleja puede ser una forma de 8 polígonos irregulares o de otras formas complejas. En particular, las formas pueden ser cerradas. Alternativamente, las formas pueden ser abiertas, teniendo una o más aberturas a lo largo de su extensión.

60 Ejemplos particulares del procedimiento descrito anteriormente proporcionan ventajas técnicas sobre las técnicas convencionales. Además de reducir los desechos, tales presentes ejemplos también permiten la producción de grandes anillos de sellado de material termoplástico que tienen propiedades mecánicas deseables. En particular, los presentes ejemplos prevén anillos de sellado que tengan una circunferencia de al menos 1,5 m o un diámetro máximo mayor que 1,3 m con propiedades de alargamiento de rotura deseables. Tales propiedades son indicativas de durabilidad e idoneidad como anillo de sellado. Además, tales procedimientos proporcionan anillos de sellado formados por materiales

termoplásticos especialmente diseñados que tienen normalmente mayores temperaturas de transición vítrea y de fusión y característicamente tienen un alto módulo y una alta resistencia a la tracción. Además, tales materiales termoplásticos especialmente diseñados tienen coeficientes de fricción deseables.

En particular, los procedimientos anteriores permiten la formación de anillos de sellado de gran circunferencia a partir de varillas extrudidas de materiales deseables. Las técnicas convencionales para formar anillos de sellado están limitadas en cuanto al diámetro o están limitadas en cuanto al material de uso. Las técnicas convencionales basadas en el corte de anillos de sellado de láminas extrudidas adolecen de limitaciones en cuanto al diámetro de sello y adolecen de variabilidad entre las propiedades en la máquina y de la transferencia de direcciones transversales al anillo de sellado. Por lo general, es difícil extrudir materiales termoplásticos adecuados en láminas de más de 1 m. Las técnicas convencionales de moldeo por compresión están limitadas en cuanto al material de uso y proporcionan malas propiedades mecánicas. En comparación, los procedimientos del presente documento proporcionan un anillo que puede usarse con una variedad de materiales, prevén un anillo de sellado cuyas propiedades en el arco en la dirección circunferencial están relacionadas con las propiedades en dirección de la máquina de la varilla extrudida y que tiene una durabilidad y unas propiedades mecánicas deseables.

Además, modos de realización particulares de material compuesto relleno de fluoropolímero están adaptados para su uso en los procedimientos anteriores. Por ejemplo, un relleno de fluoropolímero particular permite soldar el anillo de sellado para producir un alargamiento de rotura de soldadura deseable, mientras que otros materiales compuestos rellenos prevén un alargamiento de rotura de soldadura menos deseable.

EJEMPLOS

EJEMPLO 1

Se calientan cuatro varillas de PEEK a diferentes temperaturas (150°C, 200°C, 285°C y 310°C) y se forman alrededor de una rueda de acero. La formabilidad de las varillas de PEEK calentadas se mide como la distancia entre los dos extremos de la varilla de 863,6 mm (34 in) mientras está firmemente enrollada alrededor de la rueda de acero de 393,7 mm (15,5 in) de diámetro. En la tabla 1 se ilustra la formabilidad.

TABLA 1. Formabilidad de las varillas termoplásticas

Temperatura (°C)	Formabilidad en mm (in)
150	NF
200	431,8 (17,0)
285	424,2 (16,7)
310	419,1 (16,5)
NF - No formable	

La varilla que se calienta hasta 150°C es demasiado rígida para formarse. Con el aumento de la temperatura, aumentó la flexibilidad de la varilla de PEEK. Alrededor de 310°C, la varilla de PEEK tiene una formabilidad relativamente alta.

EJEMPLO 2.

Se calientan tres varillas de PEEK a 310°C y se forman alrededor de una rueda de acero. Los arcos se retiran de la rueda cuando las temperaturas de núcleo alcanzan una temperatura específica. Se mide la relajación del arco de PEEK enfriado para determinar la recuperación elástica. Tal y como se ilustra en la Tabla 2, las varillas de PEEK se recuperan elásticamente de manera significativa cuando se retiran de la rueda a temperaturas superiores a la temperatura de transición vítrea del PEEK. Cuando se retiran por debajo de la temperatura de transición vítrea, los arcos de PEEK muestran una recuperación elástica relativamente baja similar.

TABLA 2. Recuperación elástica de las varillas termoplásticas

Temperatura (°C)	Recuperación elástica en mm (in)
200	76,2 (3)
125	6,35 (0,25)
22	6,35 (0,25)

EJEMPLO 3.

Se utilizan catorce barras de PEEK extrudidas de 101,6 mm x 25,4 mm x 25,4 mm (4"x1"x1"), disponibles en McMaster-Carr, para preparar siete barras soldadas por soldadura por contacto con una placa calefactora. Se forma una muestra después de secarla a 90°C durante 3 horas antes de soldar. Las muestras restantes se forman a partir de varillas que se secan a temperaturas en el rango de 135°C a 190°C durante 2 horas.

Las muestras se preparan calentando extremos de varilla con una temperatura del calefactor en el rango de 385°C a 450°C y poniendo los extremos de varilla en contacto el uno con el otro a una presión de 689,48 kPa (100 psi). Las muestras se mecanizan para los ensayos de tracción. Además, algunas de las muestras se recuecen a temperaturas de 250°C durante un período de 4 horas. Las muestras se comparan con una muestra extrudida disponible en McMaster-Carr y un patrón extrudido disponible en Ensinger. En la Tabla 3 se ilustran las propiedades de alargamiento de rotura para las muestras.

TABLA 3. Alargamiento de rotura para muestras soldadas

Muestra (temp. de soldadura, tiempo de soldadura)	Alargamiento de rotura medio (%)
Extrudida	28
Extrudida sin recocer	22
Extrudida y recocida	23
Sin recocer 420°C, 40 s	9
Recocida 420°C, 20 s	13
Sin recocer 445°C, 40 s	7
Recocida 445°C, 40 s	12
Recocida 385°C, 20 s	3
Recocida 450°C, 20 s	9

El PEEK extrudido de McMaster-Carr presenta un mal alargamiento de rotura en comparación con el PEEK extrudido disponible en Ensinger. Las muestras de PEEK soldadas presentan en general un alargamiento de rotura inferior en comparación con las referencias sin soldar. Las muestras recocidas presentan un alargamiento de rotura mejorado en comparación con las muestras no recocidas.

Cuando los valores de alargamiento de rotura se evalúan en función de la temperatura de placa calentadora y el tiempo de calentamiento durante la soldadura, tanto la temperatura de placa calentadora como el tiempo de calentamiento influyen en el rendimiento mecánico. En la tabla 4 se ilustran las propiedades de alargamiento de rotura. Comparando las muestras a una temperatura de placa calentadora de 385°C y los tiempos de calentamiento de 20 s, 40 s y 60 s, el tiempo de calentamiento de 40 s proporcionó un alargamiento de rotura del 13% para la muestra recocida. El calentamiento a 60 s proporcionó resultados similares.

TABLA 4. Alargamiento de rotura (%) para muestras

Temp. (°C)	Tiempo de contacto (s)		
	20 s	40 s	60 s
445	9	11	
420	13		
385	3	13	12

A los 20 s, la temperatura de placa calentadora de 420°C proporciona valores de alargamiento de rotura más altos que unas temperaturas de placa calentadora de 385°C y 445°C. En consecuencia, parece que 385°C es una temperatura demasiado baja para conseguir una unión adecuada y que 445°C es demasiado caliente, lo que podría hacer que el material se degradase.

EJEMPLO 4

Se forman muestras se forman a partir de PEEK extrudido disponible en Ensinger.

Se realiza una soldadura por soldadura por contacto con una placa calentadora y por soldadura sin contacto con una placa calentadora. Las varillas de PEEK extrudidas se secan a 150°C durante dos horas y media. La soldadura se realiza con una placa calentadora a una temperatura en el rango de 400°C a 420°C. La soldadura por contacto incluye poner los extremos de varilla en contacto con la placa calentadora durante un período en el rango de 40 s y 60 s. La soldadura sin contacto se realiza con la placa calentadora a 500°C, con un tiempo de permanencia de 240 s. Durante el calentamiento, los extremos de varilla que no están en contacto se mantienen a entre 1 mm y 2 mm de la placa. Una vez fundidos, los extremos se aprietan el uno contra el otro para formar las muestras.

Las muestras formadas por contacto con la placa calentadora se recuecen a una temperatura de alrededor de 250°C durante un período de entre 4 y 8 h. En la tabla 5 se ilustra el alargamiento de rotura

TABLA 5. Efecto del recocido sobre las propiedades mecánicas

Recocido	Alargamiento de rotura medio (%)
Patrón sin contacto	12
Patrón	18
250°C, 4 h	13
250°C, 8 h	33
300°C, 4 h	19

De acuerdo con el alargamiento de rotura ilustrado, el recocido a 250°C durante un período de 8 h parece proporcionar propiedades de alargamiento de rotura deseables. Otras temperaturas y períodos de recocido proporcionaron valores de

EJEMPLO 5

Se sueldan muestras de PEEK extrudido. Las muestras se secan a una temperatura de 150°C durante tres horas. Se realiza una soldadura a temperaturas de placa de 420°C durante un período de 40 s. Los extremos se aprietan el uno contra el otro a una presión de 689,48 kPa (100 psi). Todas las soldaduras se recuecen a 250°C durante un período de 8 h. Las muestras se mecanizan para los ensayos de tracción. En la Tabla 6 se ilustra el alargamiento de rotura medio y la distribución de los resultados.

TABLA 6. Propiedades mecánicas del PEEK soldado

	420°C, 40 s	420°C, 60 s
Promedio Alargamiento (%)	37,19	37,05
% de muestras con un alargamiento >35 20%	35	43

EJEMPLO 6.

De acuerdo con los ejemplos anteriores, se forman muestras a partir de PEEK extrudido seco disponible en Ensinger o en Quadrant. Los extremos de la muestra se calientan a 420°C durante al menos 40 s y se aprietan el uno contra el otro durante un período de al menos 40 s. Las muestras se recuecen a una temperatura de 250°C durante un período de 8 h. Las muestras se mecanizan para los ensayos de propiedades mecánicas. En la Tabla 7 se ilustra el alargamiento de rotura de las muestras en un procedimiento que se ajusta a la norma ASTM D638.

TABLA 7. Alargamiento de rotura para materiales de PEEK soldados

	Alargamiento de rotura medio (%)		
	Patrón	Con contacto	Sin contacto
Enginger	14,24	18,77	22,46
Quadrant	19,355	33,88	38,44

EJEMPLO 7

Durante los experimentos realizados en relación con los otros ejemplos, los solicitantes observaron que la rotura temprana tendía a ser atribuible a la presencia de huecos cerca de las superficies soldadas. Se forman muestras de manera similar a la del Ejemplo 5. Los extremos fundidos de las varillas se aprietan el uno contra el otro a una presión de al menos 344,74 kPa (50 psi). Al apretarse las unas contra las otras, por entre las varillas se extruye material en una cantidad equivalente a al menos 3,18 mm (1/8") de la longitud de varilla por 6,45 cm² (1 sq in) de sección transversal. Tomografías computarizadas ilustran que el material extrudido elimina los huecos, dejando una unión con pocos huecos. Otros procedimientos para mantener dentro de la masa fundida una presión más alta que la presión circundante incluyen reducir la presión circundante soldando en un entorno de vacío o restringir la capacidad del material fundido de extrudirse entre los extremos fundidos a medida que se aprietan el uno contra el otro.

EJEMPLO 8

Una calidad de PEEK extrudido que tiene excelentes propiedades para formarse un sello comprende un PTFE al 15%. Tiene las siguientes propiedades como varilla extrudida.

TABLA 8. Propiedades de una varilla extrudida de PEEK relleno de PTFE

Propiedad	ASTM n.º	Valor	Unidad en el S.I.
-----------	----------	-------	-------------------

		estadounidense	
General			
Forma	---	Gránulos (grises)	Gránulos (grises)
Composición (polietercetonacetona)	---	Relleno de PTFE	Relleno de PTFE
Contenido del relleno (valor nominal)	---	15%	15%
Gravedad específica	D792	1,39	1,39 g/ml
Contracción lineal del molde [in/in]	D955	0,01	0,01 cm/cm
Absorción de humedad a las 24 h [%]	D570	0,1	0,10%
Mecánicas			
Resistencia a la tracción (rotura) [ksi]	D638	12	83 MPa
Módulo de tracción [Mpsi]	D638	0,5	3,4 GPa
Alargamiento (rotura) [%]	D638	15	15%
Resistencia a la flexión (límite de elasticidad) [ksi]	D790	21	144 MPa
Módulo de flexión [Mpsi]	D790	0,5	3,4 GPa
Izod, con muesca [ft-lb/in] a 1/8"	D256	0,8	0,6 J/cm
Dureza, Shore D	D2240	85	85
Térmica			
Punto de fusión [°F]	DSC	650	343°C
Temperatura de transición vítrea (Tg), [°F]	DSC	290	143°C
Térmica			
Grado de inflamabilidad (UL 94)	UL 94	V-0	V-0
HDT a 264psi, °F	D648	340	171°C
Otras			
Coefficientes de fricción cinética	D1894	0,1	0,1
Coefficientes de fricción estática	D1894	0,1	0,1

Una varilla extrudida de material compuesto de PEEK relleno de PTFE al 25% también tiene un alargamiento de rotura aceptable del 10% y un bajo coeficiente de fricción.

- 5 Un tercer material compuesto contiene PEEK relleno de negro de carbón al 10%. Tiene un alargamiento de rotura deseable al tiempo que proporciona al PEEK propiedades disipativas estáticas.

EJEMPLO 9

- 10 Se sueldan muestras de PEEK extrudido. Tal y como se ha indicado, se seca un subconjunto de las muestras a una temperatura de 150°C durante tres horas. Se realiza una soldadura a temperaturas de placa de 420°C durante un período de entre 40 s y 60 s. Se aprieta un extremo contra el otro. Tal y como se ha indicado, se recuece un subconjunto de las muestras a 250°C durante un período de 8 h. Las muestras se mecanizan para los ensayos de tracción.

- 15 Se analizan muestras por exploración por tomografía computarizada (TAC) y por exploración ultrasónica. La exploración TAC se realiza con los parámetros 150 kV, 50 mA, 30 µm Voxel, 800 imágenes y 1 s de tiempo. La exploración ultrasónica se realiza mediante ensayos no destructivos por ultrasonido con una frecuencia de transductor de 50 MHz.

- 20 En la Tabla 9 se ilustra una comparación de la detección de huecos mediante las técnicas de exploración. Tal y como se ilustra, el TAC detecta huecos cerca de la superficie y huecos con un tamaño inferior a 0,38 mm. La exploración ultrasónica es menos eficaz a la hora de detectar huecos cerca de la superficie o que tengan un tamaño inferior a 0,38 mm. Por lo general, los sellos se mecanizan, lo cual elimina huecos cerca de la superficie, y un número limitado de huecos de un tamaño inferior a 0,4 mm tiene poca influencia en el rendimiento, tal como el alargamiento y la resistencia a la tracción.

- 25 TABLA 9. Detección de huecos utilizando técnicas de exploración

Referencia	Tamaño de hueco [mm] (si los hubiera)	Ensayos no destructivos por ultrasonido	Resultados de la TAC
Sin pre-secado, recocido normal	0,38, en la superficie	Sin huecos	Huecos
Sin pre-secado, recocido normal	-	Sin huecos	Sin huecos
Pre-secado, recocido normal	Grandes huecos	Huecos	Huecos
Pre-secado, recocido normal	Huecos grandes, superficie	Huecos	Huecos
Sin pre-secado, no recocido	0,7 mm, en la superficie	Sin huecos	Huecos

Pre-secado, no recocido	-	Sin huecos	Sin huecos
-------------------------	---	------------	------------

Se someten a ensayo muestras similares a las muestras anteriores para ver su alargamiento y sus propiedades de tracción. Tal y como se ilustra en la Tabla 10, la muestra promedio sin huecos presenta un gran alargamiento, mientras que las muestras que tienen huecos detectables por ensayos no destructivos por ultrasonido se rompieron por la soldadura y presentan poco o ningún alargamiento.

TABLA 10. Propiedades de alargamiento de muestras

Muestra	Alargamiento (%)
Medio (soldadura a 420°C, 40 s)	37,19
Medio (soldadura a 420°C, 60 s)	37,05
Porosidad superficial (soldadura a 420°C, 60 s)	7,22
Porosidad superficial (soldadura a 420°C, 40 s)	5,34
Porosidad sub-superficial (soldadura a 420°C, 40 s)	2,57

Tal y como se ilustra en la Tabla 10, el alargamiento medio de las muestras es significativamente mayor que 20%. Cuando hay presencia de huecos, ya sea en la superficie o debajo de la superficie, el alargamiento decae significativamente.

En un ejemplo, un procedimiento de análisis de huecos incluye la determinación de los ajustes de un dispositivo de exploración ultrasónica basada en pruebas comparativas en relación con otra técnica de exploración, tal como la tomografía computarizada. Por ejemplo, se puede explorar un conjunto de muestras que incluya una variedad de condiciones o tipos de hueco utilizando una técnica de TAC y una técnica de ultrasonido. Las muestras pueden analizarse para determinar una propiedad, tal como una propiedad mecánica, por ejemplo, la resistencia a la tracción o el alargamiento, para determinar qué constituye un defecto significativo o un defecto que tenga influencia en la propiedad. Se pueden determinar parámetros deseables para la técnica de exploración ultrasónica que den como resultado la detección de un defecto significativo, al tiempo que tengan un éxito limitado a la hora de detectar defectos insignificantes.

En un ejemplo particular, un procedimiento de formación de un anillo de sellado incluye calentar una varilla termoplástica hasta una temperatura superior a la temperatura de transición vítrea. La varilla termoplástica tiene unos extremos primero y segundo. El procedimiento incluye, además, doblar la varilla termoplástica en una estructura circular mientras la temperatura está por encima de la temperatura de transición vítrea, unir los extremos primero y segundo de la varilla termoplástica para formar un anillo semiacabado y recocer el anillo semiacabado.

En un ejemplo, un procedimiento de formación de un anillo de sellado incluye calentar una varilla extrudida a una temperatura superior a una temperatura de transición vítrea. La varilla extrudida tiene unos extremos primero y segundo. El procedimiento incluye, además, doblar la varilla extrudida en una estructura circular mientras la temperatura está por encima de la temperatura de transición vítrea, unir los extremos primero y segundo de la varilla extrudida para formar un anillo semiacabado y recocer el anillo semiacabado.

En otro ejemplo, un procedimiento de formación de un anillo de sellado incluye calentar una varilla extrudida hasta una temperatura superior a la temperatura de transición vítrea de un material de la varilla extrudida. La varilla extrudida tiene unos extremos primero y segundo. El procedimiento incluye, además, doblar la varilla extrudida mientras la temperatura está por encima de la temperatura de transición vítrea, enfriar la varilla extrudida doblada hasta una temperatura inferior a la temperatura de transición vítrea, soldar por fusión los extremos primero y segundo de la varilla extrudida para formar un anillo semiacabado y recocer el anillo semiacabado.

En otro ejemplo más, un procedimiento de formación de un anillo de sellado incluye calentar unas primera y segunda varillas extrudidas hasta una temperatura superior a la temperatura de transición vítrea e inferior al punto de fusión de un material de las varillas extrudidas. Las varillas extrudidas tienen unos extremos primero y segundo. El procedimiento incluye, además, doblar las varillas extrudidas mientras la temperatura está por encima de la temperatura de transición vítrea, unir los primeros extremos de las primera y segunda varillas extrudidas y los segundos extremos de las primera y segunda varillas extrudidas para formar un anillo semiacabado y recocer el anillo semiacabado.

En un ejemplo adicional, un procedimiento de formación de un anillo de sellado incluye cortar arcos de una lámina moldeada o extrudida por compresión. Los arcos tienen unos extremos primero y segundo. El procedimiento incluye, además, unir los primeros extremos de los primer y segundo arcos y los segundos extremos de los primer y segundo arcos para formar un anillo semiacabado y recocer el anillo semiacabado.

En un ejemplo adicional, un aparato incluye un molde circular que comprende una ranura dispuesta alrededor de la circunferencia del molde circular. El molde circular puede pivotar alrededor de un punto central. El aparato también incluye una abrazadera para asegurar un artículo en la ranura del molde circular. La abrazadera está configurada para seguir el movimiento pivotante del molde circular. El aparato incluye además una pluralidad de rodillos distribuidos alrededor de la

circunferencia del molde circular. Cada rodillo de la pluralidad de rodillos está configurado para acoplarse y aplicar una fuerza radial al artículo después de que la abrazadera deje atrás la posición de cada rodillo.

5 En otro ejemplo divulgado en el presente documento, un anillo de sellado incluye un material termoplástico que tiene una elongación de rotura de soldadura de al menos un 5%. El anillo de sellado tiene un diámetro de al menos 1,3 m.

10 En otro ejemplo divulgado en el presente documento, un anillo de sellado tiene una soldadura e incluye un material termoplástico que tiene una temperatura de transición vítrea de al menos 100°C. El material termoplástico tiene una elongación de rotura de la soldadura de al menos un 5%. El anillo de sellado tiene un diámetro de al menos 1,3 m. El anillo de sellado tiene un coeficiente de fricción no mayor a 0,45.

En un ejemplo adicional descrito en este documento, un anillo de sellado incluye material de PEEK extrudido que tiene un alargamiento de rotura de soldadura de al menos un 5%. El anillo de sellado tiene un diámetro de al menos 1,3 m.

15 En otro ejemplo, un aparato incluye un primer dispositivo de fijación para acoplarse a un primer extremo de un elemento de arco termoplástico y un segundo dispositivo de fijación para acoplarse a un segundo extremo del elemento de arco termoplástico. Los dispositivos de fijación primero y segundo mueven a los extremos primero y segundo a lo largo de una trayectoria en un movimiento relativo el uno hacia el otro. El aparato también incluye un calefactor que incluye una fuente de calor. El calefactor está configurado para moverse y entrar en la trayectoria. Los dispositivos de fijación primero y
20 segundo acercan los extremos primero y segundo a la fuente de calor sin entrar en contacto con la fuente de calor. Los extremos primero y segundo se funden al menos parcialmente. Los dispositivos de fijación primero y segundo mueven a los extremos primero y segundo al menos parcialmente fundidos para que entren contacto el uno con el otro.

25 En un primer aspecto dado a conocer en el presente documento, un anillo de sellado incluye una soldadura y un material termoplástico que tiene un alargamiento de rotura de soldadura de al menos un 3%. En un ejemplo del primer aspecto, el anillo de sellado tiene una circunferencia de al menos 0,62 m, tal como una circunferencia de al menos 1,5 m. En otro ejemplo, el anillo de sellado tiene un diámetro de al menos 0,2 m, tal como 1,3 m.

30 En otro ejemplo, el material termoplástico se selecciona del grupo que consta de una policetona, una poliaramida, una poliimida, una polieterimida, una poliamidaimida, sulfuro de polifenileno, una polisulfona, un fluoropolímero termoplástico, un derivado de los mismos y una combinación de los mismos. Por ejemplo, el material termoplástico puede seleccionarse del grupo que consta de una policetona, una poliaramida, una poliimida, una polieterimida, una poliamidaimida, un sulfuro de polifenileno, una sulfona de polifenileno, un fluoropolímero, un polibencimidazol, un polímero de cristal líquido, un derivado de los mismos o una combinación de los mismos. En otro ejemplo, el material termoplástico es un material de
35 policetona seleccionado del grupo que consta de la poliéter éter cetona, la poliéter cetona, la poliéter cetona cetona, un derivado de las mismas y una combinación de las mismas. En un ejemplo adicional, el material termoplástico comprende un polietileno de peso molecular ultra alto.

40 En un ejemplo particular, el anillo de sellado tiene un coeficiente de fricción no mayor que 0,45, tal como no mayor que 0,35. El material termoplástico puede tener un punto de fusión de al menos 250°C, tal como de al menos 300°C o incluso de al menos 320°C. El material termoplástico puede tener una temperatura de transición vítrea de al menos 100°C, tal como de al menos 125°C o incluso de al menos 145°C.

45 En un ejemplo adicional del primer aspecto, el material termoplástico tiene una resistencia a la tracción de al menos 21,4 MPa (3.100 psi), tal como de al menos 68,9 MPa (10.000 psi) o incluso de al menos 103 MPa (15.000 psi). El material termoplástico puede tener un módulo de tracción de al menos 0,69 GPa (100 ksi), tal como de al menos 5,16 GPa (750 ksi) o incluso de al menos 5,86 GPa (850 ksi).

50 En otro ejemplo del primer aspecto divulgado en el presente documento, el alargamiento de rotura de soldadura es de al menos un 5%, tal como de al menos un 10%, de al menos un 15% o incluso de al menos un 20%.

55 En un ejemplo del primer aspecto, el anillo de sellado tiene un grosor radial no mayor que un 20% del diámetro. Además, el anillo de sellado puede tener una sección transversal en forma de polígono, tal como un polígono con al menos cuatro lados.

En un ejemplo adicional, el material termoplástico puede incluir un relleno lubricante sólido, tal como PTFE o negro de carbón.

60 En un segundo aspecto divulgado en el presente documento, un anillo de sellado tiene una soldadura y comprende un material termoplástico que tiene una temperatura de transición vítrea de al menos 100°C. El material termoplástico con la soldadura tiene un alargamiento de rotura de soldadura de al menos un 3%. El anillo de sellado tiene una circunferencia de al menos 0,62 m. El anillo de sellado tiene un coeficiente de fricción no mayor que 0,45. En un ejemplo del segundo aspecto, el coeficiente de fricción no es mayor que 0,4, tal como no mayor que 0,35.

65 En otro ejemplo del segundo aspecto divulgado en el presente documento, el alargamiento de rotura de soldadura es de al menos un 5%, tal como de al menos un 10%, al menos de un 15% o incluso de al menos un 20%. El material

termoplástico puede tener un módulo de tracción de al menos 0,69 GPa (100 ksi). En un ejemplo, la temperatura de transición vítrea es de al menos 125°C, tal como de al menos 145°C.

- 5 En un tercer aspecto dado a conocer en el presente documento, un anillo de sellado incluye un material de PEEK extrudido que tiene un alargamiento de rotura de soldadura de al menos un 3%. El anillo de sellado tiene una circunferencia de al menos 1,5 m. En un ejemplo del tercer aspecto, el material de PEEK extrudido es un material compuesto que comprende un relleno. Por ejemplo, el relleno puede incluir un lubricante sólido, tal como PTFE. En otro ejemplo, el relleno incluye una cerámica o un mineral. En un ejemplo adicional, el relleno incluye negro de carbón.
- 10 En otro ejemplo del tercer aspecto divulgado en el presente documento, el alargamiento de rotura de soldadura es de al menos un 5%, tal como de al menos un 10%, de al menos un 15% o incluso de al menos un 20%. Además, el anillo de sellado puede incluir además una soldadura.
- 15 En un cuarto aspecto, un anillo de sellado tiene una junta e incluye un material compuesto que incluye un material termoplástico y un lubricante sólido. El material compuesto con la junta tiene un alargamiento de rotura de soldadura de al menos un 3%. El anillo de sellado tiene un coeficiente de fricción no mayor que 0,45.
- 20 Tal y como se usan en el presente documento, los términos "comprende", "comprendiendo", "incluye", "incluyendo", "tiene", "teniendo" o cualquier otra variación de los mismos pretenden cubrir una inclusión no exclusiva. Por ejemplo, un proceso, un procedimiento, un artículo o un aparato que comprende una lista de características no se limita necesariamente solo a esas características, sino que puede incluir otras características que no se hayan relacionado expresamente relacionadas o que sean inherentes a tal proceso, procedimiento, artículo o aparato. Además, a menos que se diga expresamente lo contrario, "o" se refiere a un o inclusivo y no a un o exclusivo. Por ejemplo, una condición A o B es satisfecha por una cualquiera de las siguientes expresiones: A es verdadero (o presente) y B es falso (o no presente), A es falso (o no presente) y B es verdadero (o presente), y tanto A como B son verdaderos (o presentes).
- 25 Además, "un/uno" o "una" se emplean para describir elementos y componentes descritos en el presente documento. Esto se hace simplemente por conveniencia y para dar un sentido general del alcance de la invención. Esta descripción se debe interpretar como que incluye uno o al menos uno, y el singular también incluye el plural, a menos que sea obvio que se pretende lo contrario.
- 30

REIVINDICACIONES

1. Un anillo de sellado que comprende
- 5 una varilla extrudida doblada que tiene dos extremos y que comprende un material termoplástico, y una soldadura que une los dos extremos de la varilla extrudida doblada,
el material termoplástico soldado que tiene un alargamiento de rotura de soldadura de al menos un 20%, tal y como se determinó a través de ensayos de tracción de muestras soldadas de acuerdo con la norma ASTM D638, estando la
10 soldadura libre de huecos cuya dimensión máxima sea mayor que 0,4 mm.
2. El anillo de sellado de la reivindicación 1, en el que el anillo de sellado tiene una circunferencia de al menos 0,62 m.
- 15 3. El anillo de sellado de la reivindicación 2, en el que la circunferencia es de al menos 1,5 m.
4. El anillo de sellado de la reivindicación 1, en el que el anillo de sellado tiene un diámetro de al menos 0,2 m.
- 20 5. El anillo de sellado según la reivindicación 4, en el que el diámetro es de al menos 1,3 m.
6. El anillo de sellado de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el material termoplástico se selecciona del grupo que consta de una policetona, una poliaramida, una poliimida, una polieterimida, una poliamidaimida, un sulfuro de polifenileno, una polifenilenosulfona, un fluoropolímero, un polibencimidazol, un polímero de cristal líquido, un derivado de los mismos o una combinación de los mismos.
- 25 7. El anillo de sellado de la reivindicación 6, en el que el material termoplástico comprende una policetona.
8. El anillo de sellado de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el anillo de sellado tiene un coeficiente de fricción no mayor que 0,45.
- 30 9. El anillo de sellado de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el material termoplástico tiene un punto de fusión de al menos 250°C.
10. El anillo de sellado de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el material termoplástico tiene una temperatura de transición vítrea de al menos 100°C.
- 35 11. El anillo de sellado de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el material termoplástico tiene una resistencia a la tracción de al menos 21,37 MPa (3.100 psi).
- 40 12. El anillo de sellado de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el módulo de tracción es de al menos 0,689 GPa (100 ksi).
13. El anillo de sellado de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el alargamiento de rotura de soldadura es de al menos un 30%.
- 45 14. El anillo de sellado de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el anillo de sellado tiene una sección transversal en forma de polígono.
15. El anillo de sellado de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el material termoplástico incluye un relleno de lubricante sólido.
- 50

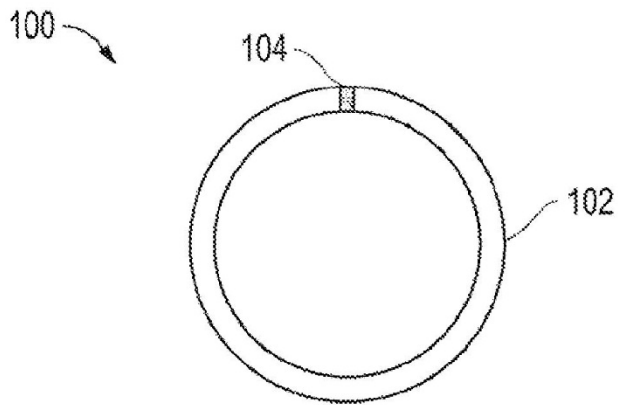


FIG. 1

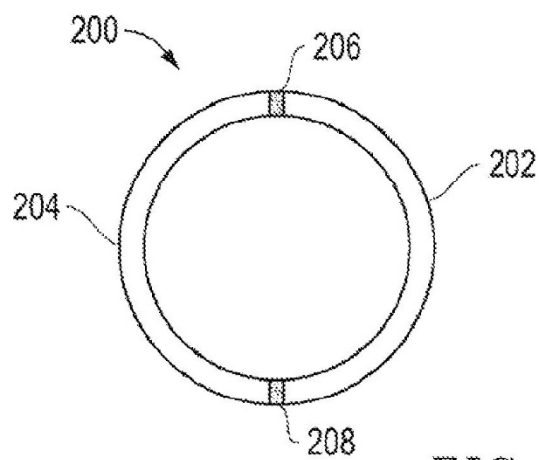


FIG. 2

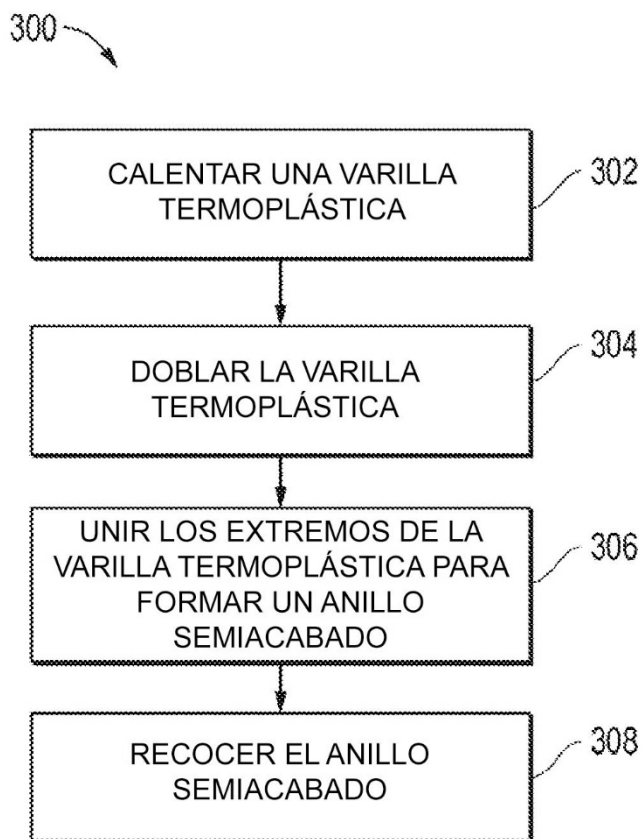


FIG. 3

400

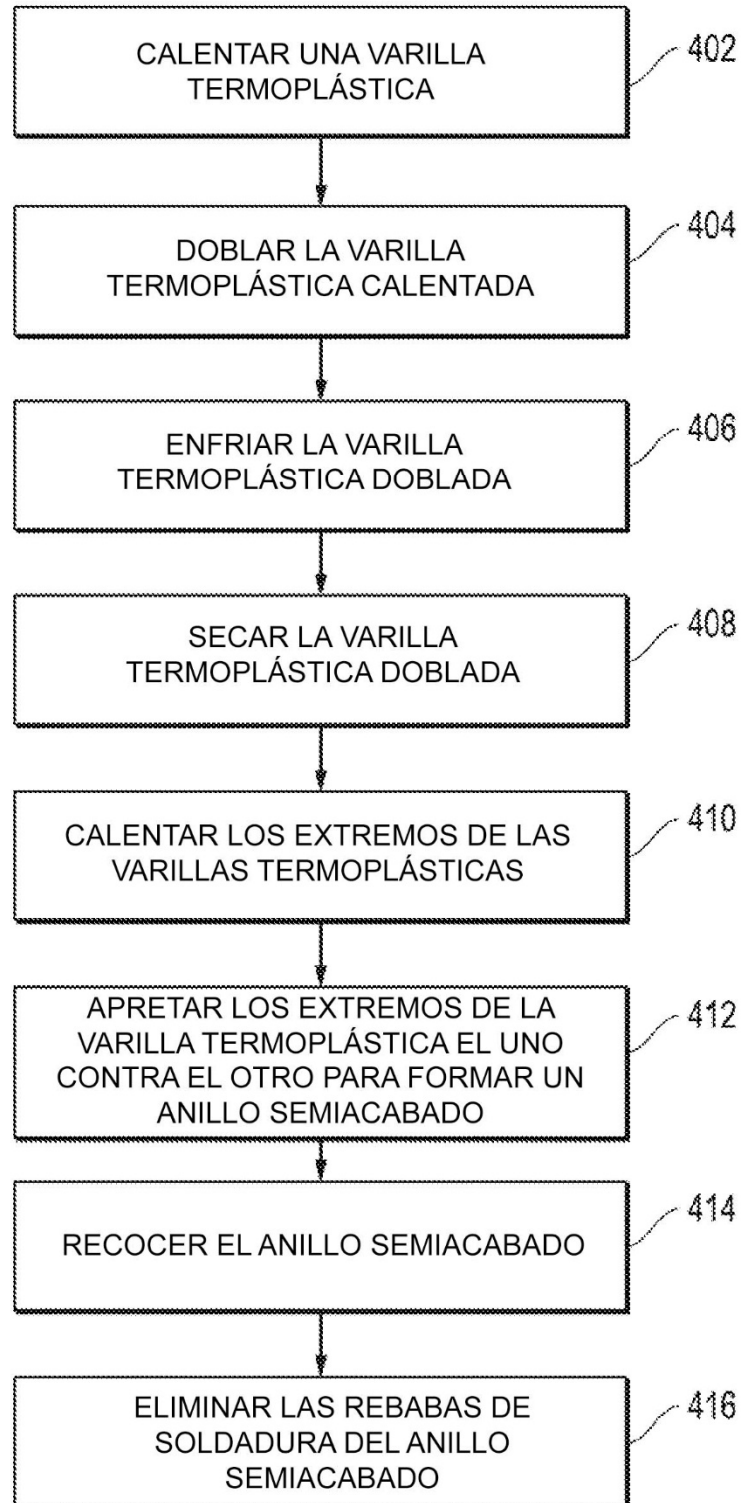


FIG. 4

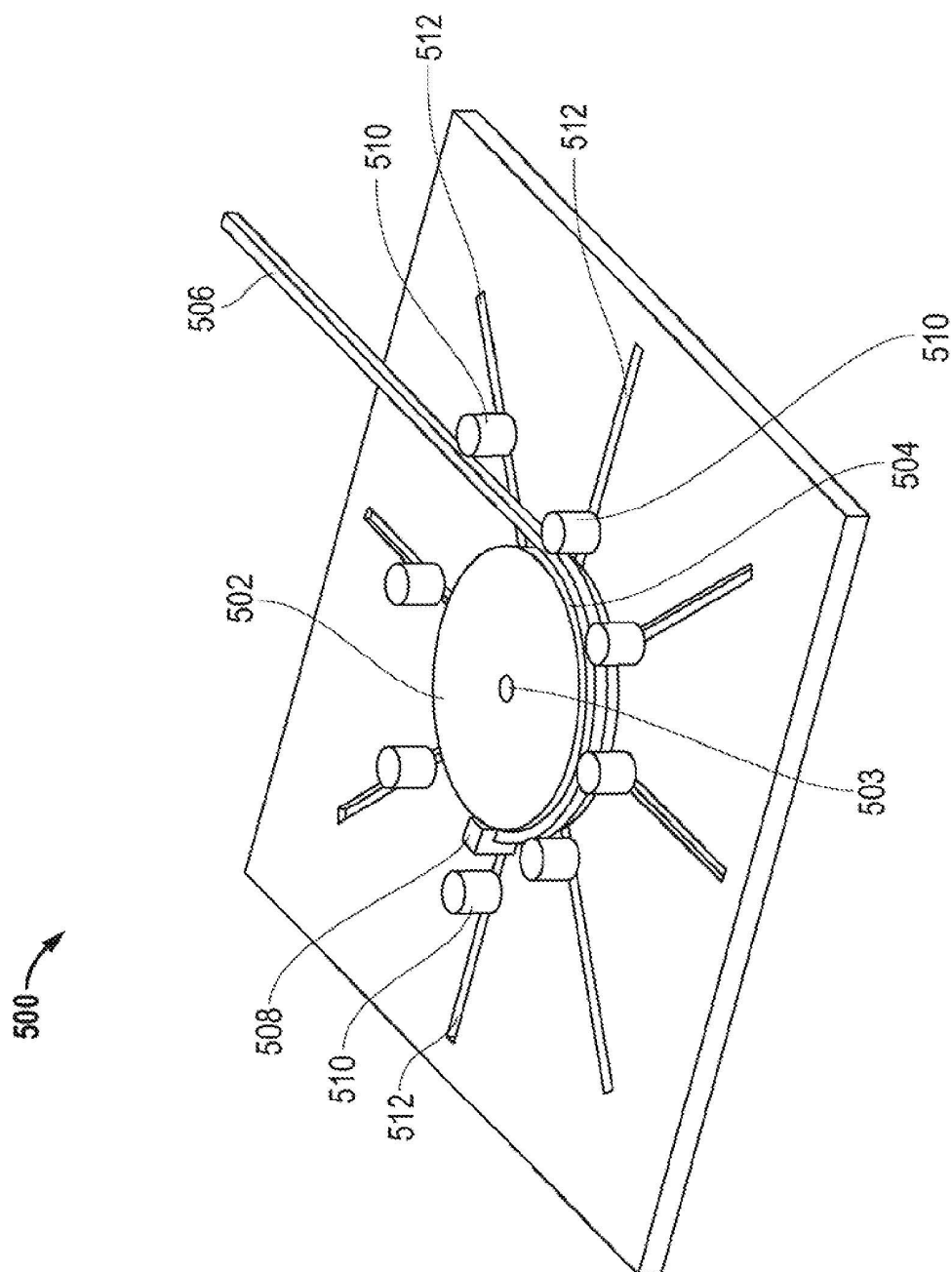


FIG. 5

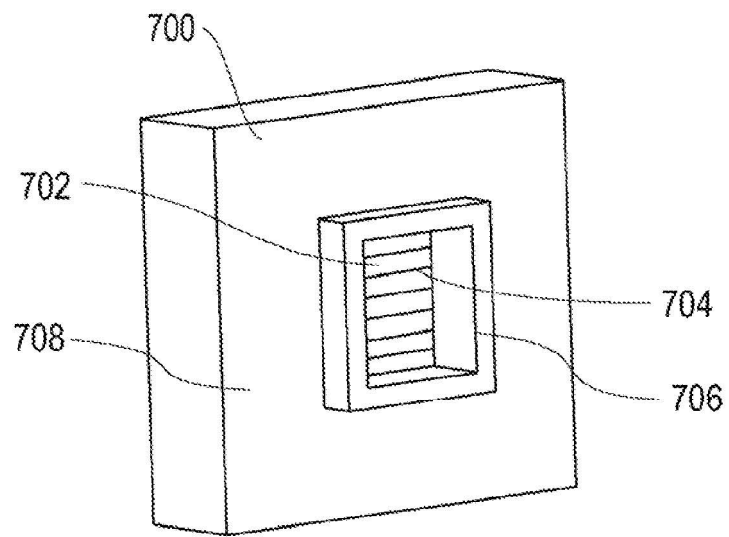


FIG. 6

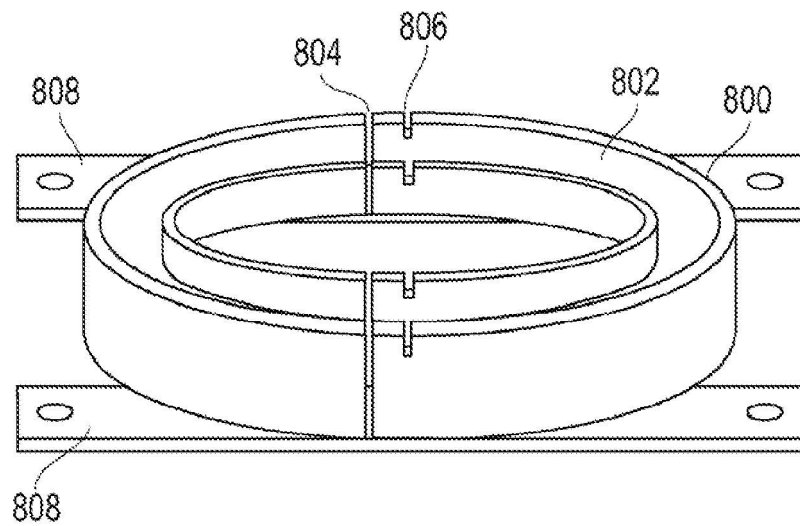


FIG. 7

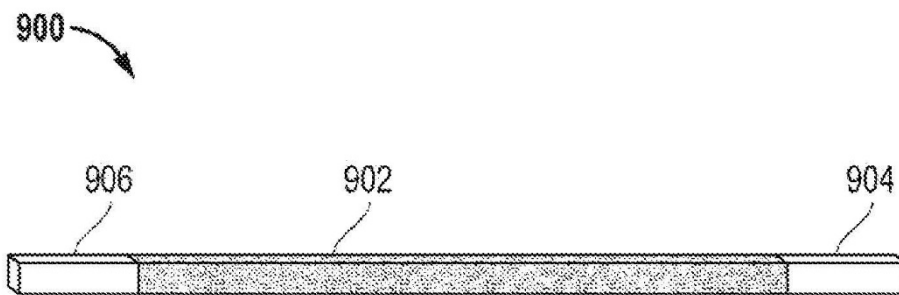


FIG. 8

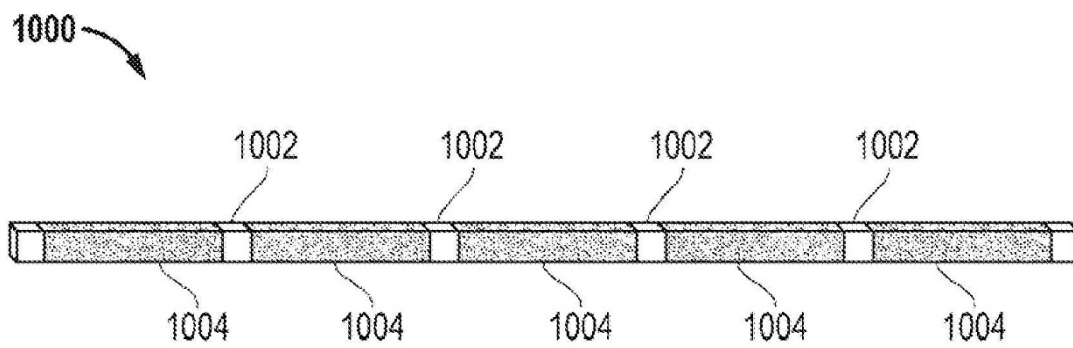


FIG. 9

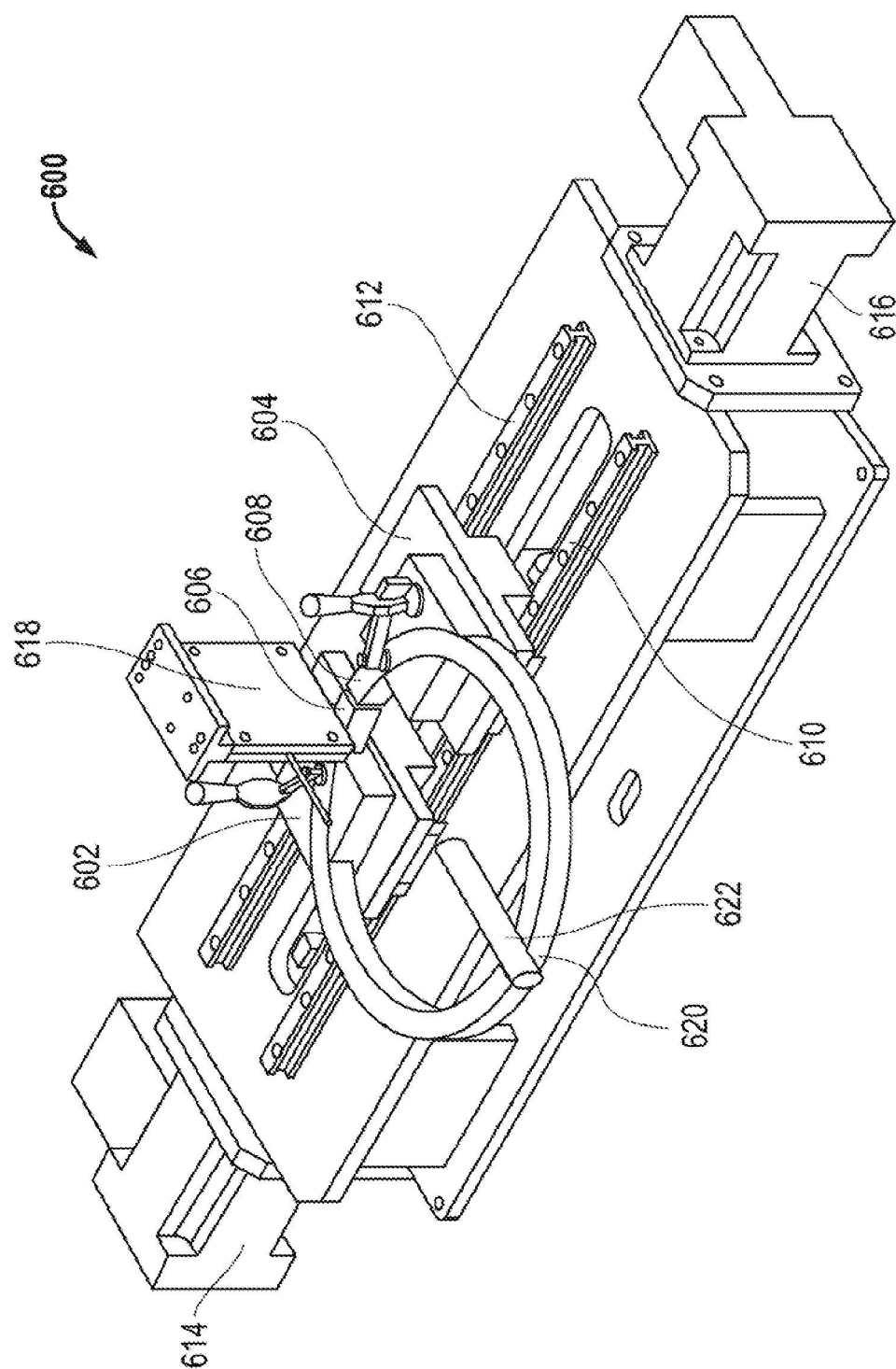


FIG. 10