(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 714 823**

(51) Int. Cl.:

F16K 17/16 (2006.01)
B23C 3/34 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.05.2009** **PCT/US2009/043144**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **10.12.2009** **WO09148760**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.05.2009** **E 09758923 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.12.2018** **EP 2297496**

(54) Título: **Disco de ruptura con línea de apertura mecanizada**

(30) Prioridad:

04.06.2008 US 133266

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.05.2019

(73) Titular/es:

FIKE CORPORATION (100.0%)
704 SW 10th Street
Blue Springs, MO 64015, US

(72) Inventor/es:

SHAW, BON, F.;
STILWELL, BRADFORD, T. y
KREBILL, MICHAEL, D.

(74) Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 714 823 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

Disco de ruptura con línea de apertura mecanizada.

Antecedentes de la invención

Campo de la invención

La presente invención se dirige en general a discos de ruptura, específicamente discos de acción inversa, que presentan una línea de apertura mecanizada formada en los mismos. Dicha línea de apertura se presenta como un rebaje y se forma mediante una operación de fresado mecánico mediante la que se retira metal de la parte abombada del disco sin alterar ni romper la estructura de grano metálico sustancialmente uniforme del metal adyacente al rebaje.

Descripción de la técnica anterior

Desde hace tiempo se conoce cómo realizar discos de ruptura de acción inversa abombados que presenten un rebaje de línea de debilidad o línea de estriado en una cara del abombado de disco. Las líneas de debilidad o líneas de estriado generalmente se han realizado como estrías en cruz, o un rebaje circunferencial de línea de debilidad en la cara cóncava del disco en el que el rebaje de línea de debilidad o línea de estriado define el área del disco que se abre tras la inversión. Sin un rebaje de línea de debilidad que defina la abertura en el disco después de cortar dicho disco a lo largo del rebaje de línea de debilidad, un disco abombado se invertirá, aunque no necesariamente se abrirá por completo. En el caso de un rebaje de línea de debilidad que se extiende circunferencialmente, la línea de debilidad normalmente no es una línea continua, presentando así un área de articulación que evita la fragmentación del área central del disco tras la inversión y la abertura. Un disco con estriado en cruz forma cuatro pétalos que se doblan hacia fuera tras la inversión del disco, de nuevo evitando la fragmentación de los pétalos. En aplicaciones de baja presión, se prefieren las líneas de estriado circulares o líneas de debilidad debido a la mayor abertura que se presenta al cortar el disco a lo largo de la línea de estriado arqueada, en comparación con un disco con estriado en cruz.

Hasta ahora, las líneas de debilidad se han realizado en discos de ruptura de acción inversa mediante una matriz de estriado de metal, utilizando un láser que erosiona una ranura en el disco, o mediante grabado químico o electropulido para retirar metal del disco a lo largo de una línea deseada. Todos estos discos de acción inversa anteriores han presentado dificultades de fabricación sin resolver, o han experimentado problemas de funcionamiento en diversos modos de utilización.

Las matrices de estriado de metal endurecen el material metálico en su funcionamiento, cambiando así la estructura del grano y la densidad del metal en la línea de estriado. El material que rodea una línea de estriado formada mediante una matriz de estriado de metal se endurece debido al trabajo durante el proceso de estriado, lo que aumenta la quebradicidad del metal y crea zonas de esfuerzo. La quebradicidad y el aumento de las zonas de esfuerzo del metal limitan la vida útil del disco de ruptura como resultado del agrietamiento por fatiga y la corrosión por esfuerzo. Las profundidades de estriado del metal requeridas para un funcionamiento satisfactorio alteran profundamente la resistencia original de la cúpula abombada, lo que dificulta la predicción de la presión requerida en última instancia para la inversión del disco de ruptura durante la operación inicial de abombado del disco antes del estriado. En consecuencia, es muy difícil producir un disco de ruptura abombado de acción inversa que presente una línea de estriado formada mediante una matriz de estriado que tanto se abra de manera confiable como resista múltiples ciclos de presión sucesivos.

También se ha propuesto realizar una línea de estriado en un disco de ruptura de acción inversa utilizando un rayo láser. Estas propuestas no han resultado comercialmente satisfactorias por varias razones. La reflectividad del metal dificulta el control de la penetración del rayo en el espesor del metal y, por lo tanto, la formación de una ranura lisa de profundidad uniforme a lo largo del rebaje de línea de debilidad previsto. Además, los láseres calientan y queman significativamente el disco, oxidan el material y cambian la metalurgia del metal. Se ha observado que los discos que presentan líneas de debilidad quemadas por un láser muestran un uso insatisfactorio, no solo desde el punto de vista de aberturas no confiables en los valores de alivio de presión requeridos, sino que también presentan una vida útil no deseada.

El grabado químico de un disco de ruptura que presenta una capa de resistencia segmentada que define una línea de debilidad también se ha propuesto en la técnica anterior, como se muestra y se describe, por ejemplo, en las patentes de los EE.UU. nº 4.122.595, 4.597.505, 4.669.626 y 4.803.136. El titular de la patente en dicha patente 4.122.595 propone el serigrafiado de un material resistente en un disco de ruptura plano en el que la serigrafía muestra aberturas que presentan un patrón de la línea de debilidad deseada. Después del abombado del disco, se rocía una solución ácida en el disco para grabar una línea de debilidad que coincida con el área del disco desprotegida por el material resistente. La superficie metálica del material del disco es algo irregular y no es perfectamente lisa, ya que los granos individuales que se encuentran uno al lado del otro presentan picos con una estructura de valle entre dichos granos. Por lo tanto, cuando se aplica un agente ácido de grabado en la

superficie del metal, ese agente no actúa de manera uniforme sobre la superficie del metal. En cambio, el grabador es más agresivo en los valles entre los granos que erosionando los picos más altos de la superficie de los granos metálicos. Se cree que el agente grabador contenido en las cavidades de valle no solo erosiona más rápidamente el metal en el área de valle en comparación con las áreas de los picos circundantes de los granos, sino que también lo hace de manera más eficiente. El consiguiente resultado del proceso de grabado es que se exagera la rugosidad de la superficie del metal, con el aumento del grado de irregularidad de la superficie con el tiempo de exposición del metal al agente de ataque. Los discos de ruptura se fabrican con materiales que son inherentemente resistentes a la corrosión, como el acero inoxidable, INCONEL, Hastalloy-C y MONEL. Como consecuencia, someter estos materiales inherentemente resistentes a la corrosión a un ácido grabador requiere que el agente grabador permanezca en contacto con la superficie del metal durante largos períodos de tiempo al erosionar un ranura que normalmente es tanto como entre el 70 % y el 90 % del espesor del metal. Por ejemplo, si el material presenta un espesor de 0,01016 cm (0,004 pulgadas), se debe erosionar tanto como hasta 0,009144 cm (0,0036 pulgadas) durante el proceso de grabado.

Además, para lograr una erosión razonablemente eficiente de estos materiales resistentes a la corrosión, el agente grabador elegido debe estar adaptado para el tipo particular de metal. De este modo, se requiere un agente ácido diferente para cada uno de los diversos metales. El material específico utilizado para fabricar un disco de ruptura particular se debe seleccionar de modo que cumpla con las especificaciones de la aplicación. Las diferentes aplicaciones del disco requieren el uso de diferentes tipos de metal. Por lo tanto, cuando se utiliza un proceso de grabado para realizar una línea de debilidad en un material del disco resistente a la corrosión, el fabricante deberá disponer de un agente grabador que sea más efectivo para erosionar ese metal específico resistente a la corrosión.

La publicación de solicitud de patente de los EE.UU. 2006/0237457 divulga la formación de una línea de debilidad definida por láser mediante electropulido en un disco de ruptura de acción inversa. Una pieza en bruto de disco de ruptura primero se preabomba, finalmente se abomba y, a continuación, se le proporciona una capa de material resistente. Se utiliza un láser para retirar por lo menos una parte de la capa de material resistente correspondiente a un rebaje de línea de debilidad deseado en la cara cóncava del disco de ruptura abombado. A continuación, el disco se somete a una operación de electropulido para retirar el metal del área irradiada con láser del disco de ruptura, formando así un rebaje de línea de debilidad pulido resplandeciente en el disco. Esta técnica da lugar a resultados aceptables cuando se utiliza en conexión con discos relativamente delgados y de pequeño diámetro. Sin embargo, a medida que aumentan el espesor y el diámetro del disco, la técnica de electropulido puede llegar a ser un modo menos atractivo de formar los rebajes de línea de debilidad. Los discos formados por materiales más gruesos generalmente requieren tiempos de electropulido más largos para lograr un rebaje que presente la profundidad deseada. Los tiempos de electropulido más largos también comportan un aumento en la anchura del rebaje. Si el rebaje pasa a ser demasiado ancho, dicho rebaje puede empezar a afectar la presión de estallido del disco, lo que comportará una pérdida de control en las características de apertura del disco.

El documento US 3.921.556 A se refiere a los procedimientos de fabricación de discos de ruptura de combado inverso estriados en los que los discos se forman parcialmente a partir de secciones de chapa metálica, recocidas para aliviar tensiones en las mismas, se realizan estriados en las mismas y, finalmente, se forman y, a continuación, se realiza un recocido por segunda vez para aliviar las tensiones en las mismas.

El documento WO 90/01634 A1 se refiere a una estructura de mamparo de disco de ruptura para su uso en un motor de cohete de múltiples etapas para misiles o similares en la que el disco se soporta mediante un miembro de respaldo con múltiples aberturas. El disco presenta una serie de abombados que definen marcas que se corresponden con la configuración de las aberturas en dicho miembro de respaldo. El abombado del disco se lleva a cabo bajo una presión que excede la presión que aguanta el disco soportado. Las líneas de estriado en el disco alineadas con los segmentos de soporte del miembro de respaldo con aberturas permiten que el disco se rompa y se abra a una presión significativamente más baja que la contrapresión con valor tolerable. La construcción proporciona una estructura de mamparo que aguantará contrapresiones en el rango entre 137,895 bar (2000 psig) y 689,476 bar (10000 psig) pero completamente abierta en una dirección de avance a una presión estática de no más de aproximadamente entre 6,895 bar (100 psig) y 27,579 bar (400 psig).

Sumario de la invención

En una forma de realización de la presente invención, se proporciona un disco de ruptura metálico de acción inversa que comprende una parte abombada que presenta unas caras cóncava y convexa opuestas y un área de reborde circundante que rodea la parte abombada. Dicha parte abombada generalmente incluye por lo menos un rebaje de línea de apertura formado mecánicamente. Dicho rebaje de línea de apertura comprende un canal único y presenta una profundidad que se extiende desde una de las caras cóncava y convexa hacia el interior hacia la otra de las caras cóncava y convexa. La parte abombada del disco de ruptura adyacente al canal presenta una estructura de grano metálico sustancialmente uniforme.

En otra forma de realización de la presente invención, se proporciona un disco de ruptura metálico de acción

inversa que comprende una parte abombada que presenta unas caras cóncava y convexa opuestas y un área de reborde circundante que rodea la parte abombada. La parte abombada comprende además un área de apertura que presenta por lo menos un rebaje de línea de apertura formado mecánicamente. Dicha área de apertura generalmente presenta una estructura de grano metálico sustancialmente uniforme en toda su extensión. El rebaje de línea de apertura comprende un canal alargado definido mediante un par de bordes separados que intersectan una de las caras cóncava y convexa, y márgenes laterales que se inclinan continuamente alejándose desde los bordes hacia un punto único y más profundo del canal. El rebaje de línea de apertura se crea retirando mecánicamente metal del área de apertura sin alterar la estructura de grano metálico sustancialmente uniforme de la parte restante de dicha área de apertura.

En otra forma de realización más de la presente invención, se proporciona un procedimiento para formar un rebaje de línea de apertura en un dispositivo metálico de alivio de presión. El procedimiento generalmente comprende proporcionar un precursor de alivio de presión que presenta una parte de alivio de presión configurada para romperse y abrirse como consecuencia de una exposición a una condición de sobrepresión predeterminada y un área de reborde circundante que rodea la parte de alivio de presión. Dicha parte de alivio de presión presenta un área de apertura en la que se forma el rebaje de línea de apertura. El área de apertura presenta una estructura de grano metálico sustancialmente uniforme en toda su extensión. A continuación, el procedimiento comprende retirar de forma mecánica una parte de metal del área de apertura de manera que forme el rebaje de línea de apertura. La parte de metal se retira sin alterar la estructura de grano metálico sustancialmente uniforme del metal restante del área de apertura.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una representación esquemática de una longitud de material de chapa metálica utilizada para la producción de discos de ruptura de acción inversa de acuerdo con la presente invención;

la figura 2 es una vista en planta fragmentada de la chapa metálica de la figura 1 y muestra en líneas discontinuas el contorno de las piezas en bruto de los discos de ruptura que se forman a partir del material de chapa de metal de la figura 1;

la figura 3 es una vista esquemática en planta de una pieza en bruto de disco formada a partir del material de chapa de la figura 2;

la figura 4 es una representación esquemática en sección transversal de un aparato para preabombar una pieza en bruto de disco de ruptura que incluye un pilar de desviación para formar una hendidura en una superficie de la pieza en bruto;

la figura 5 es una vista en sección transversal horizontal tomada sustancialmente por la línea 5-5 de la figura 4 y mirando hacia abajo en la dirección de las flechas;

la figura 6 es una representación esquemática en sección transversal de la etapa de preabombado que utiliza el accesorio ilustrado en la figura 4 y que da lugar a una región de segmento de una pieza en bruto de disco de ruptura que se desvía del cuerpo principal de la pieza en bruto;

la figura 7 es una representación esquemática fragmentada ampliada del disco preabombado que presenta una región de segmento con hendidura en la superficie convexa parcialmente abombada de la pieza en bruto de disco producida por el pilar de desviación y que se forma mediante el pilar de desviación;

la figura 8 es una vista en sección transversal horizontal tomada por la línea 8-8 de la figura 6 y mirando hacia abajo en la dirección de las flechas;

la figura 9 es una representación esquemática en sección transversal del accesorio tal como se muestra en la figura 4 y que ilustra la manera en la que se aplica presión a la cara cóncava del disco de ruptura preabombado para dar lugar al abombado final del disco de ruptura;

la figura 10 es una representación esquemática en sección transversal del accesorio tal como se muestra en la figura 6 con el pilar retirado y que ilustra la manera en la que se aplica suficiente presión a la cara cóncava del disco de ruptura preabombado para dar lugar al abombado final del disco de ruptura y dar lugar al retorno de la región de segmento con hendidura previa de la sección abombada a su posición inicial anterior a la formación de la hendidura en la misma durante el preabombado de la sección central del disco;

la figura 11 es una vista esquemática en sección transversal del disco abombado final en el que la hendidura inicial en la sección central del disco se ha allanado durante el abombado final de la pieza en bruto de disco;

la figura 12 es una vista en planta del disco abombado tal como se muestra en la figura 11, con el segmento de disco allanado, inicialmente con hendidura, representado por las líneas circulares discontinuas;

la figura 13 es una representación en sección transversal ampliada de la parte de la sección abombada del disco de ruptura y que ilustra esquemáticamente la estructura de grano alterada de la región de segmento inicialmente con hendidura de la sección abombada del disco que ha retornado a su posición original, en comparación con el metal de la parte restante de la sección abombada;

la figura 14 es una fotografía en sección transversal de un rebaje de línea de debilidad formado en un dispositivo de alivio de presión utilizando una técnica de estriado según la técnica anterior;

la figura 15 es una fotografía en sección transversal de un rebaje de línea de debilidad formado en un dispositivo de alivio de presión que utiliza un procedimiento de electropulido según la técnica anterior;

la figura 16 es una fotografía en sección transversal de un rebaje de línea de apertura creado en un dispositivo de alivio de presión de acuerdo con la presente invención;

la figura 17 es una vista fragmentada en sección transversal que ilustra una primera pasada de una fresa mecánica durante la formación de un rebaje de línea de apertura en la parte abombada de un disco de ruptura de acción inversa de acuerdo con la presente invención;

la figura 18 es una vista fragmentada en sección transversal que ilustra una segunda pasada de una fresa mecánica durante la formación de un rebaje de línea de apertura en la parte abombada de un disco de ruptura de acción inversa de acuerdo con la presente invención;

la figura 19 es una vista fragmentada en sección transversal que ilustra una tercera pasada de una fresa mecánica durante la formación de un rebaje de línea de apertura en la parte abombada de un disco de ruptura de acción inversa de acuerdo con la presente invención;

la figura 20 es una vista fragmentada en sección transversal de un disco de ruptura de acción inversa que presenta un rebaje de línea de apertura formado en la cara cóncava de la parte abombada del disco, presentando el rebaje de línea de apertura sustancialmente en forma de U en sección transversal;

la figura 21 es una vista fragmentada en sección transversal de un disco de ruptura de acción inversa que presenta un rebaje de línea de apertura formado en la cara cóncava de la parte abombada del disco, presentando el rebaje de línea de apertura sustancialmente forma de V en sección transversal;

la figura 22 es una vista en planta de otra forma de realización de un disco de ruptura de acuerdo con la presente invención que presenta un rebaje mecanizado de línea de apertura en la parte abombada del mismo en el que el rebaje de línea de apertura presenta una configuración generalmente en forma de C;

la figura 23 es una vista en planta de otra forma de realización de un disco de ruptura de acuerdo con la presente invención que presenta unos rebajes de línea de apertura de patrón en cruz mecanizados en la parte abombada del mismo;

la figura 24 es una vista fragmentada en sección transversal de una forma de realización de un disco de ruptura de acuerdo con la presente invención que presenta un rebaje de línea de apertura mecanizado formado en la cara convexa de la parte abombada del disco;

la figura 25 es una vista en perspectiva de un conjunto de disco de ruptura de combado inverso de acuerdo con la presente invención;

la figura 26 es una vista explosionada de los componentes que forman el conjunto de disco de ruptura de combado inverso;

la figura 27 es una vista explosionada en perspectiva desde abajo de los componentes que forman el conjunto de disco de ruptura de combado inverso de la figura 26 con la línea de apertura claramente visible;

la figura 28 es una vista en planta de otra forma de realización de un disco de ruptura de acuerdo con la presente invención que presenta un rebaje mecanizado de línea de apertura en la parte abombada del mismo, en el que el rebaje de línea de apertura está configurado de manera que el disco presente un par de partes de articulación y, después de su ruptura, formen dos secciones de pétalos;

la figura 29 es una vista en planta de todavía otra forma de realización de un disco de ruptura de acuerdo con la presente invención que presenta unos rebajes de línea de apertura de patrón en cruz mecanizados en la parte abombada del mismo, donde los rebajes no se intersecan; y

la figura 30 es una representación gráfica que muestra la anchura máxima de pulido de una línea de debilidad

que se puede formar utilizando una técnica de electropulido según la técnica anterior sin afectar de forma adversa a las características de estallido de un disco de ruptura de acción inversa con respecto al diámetro de la cúpula o parte abombada del disco.

Descripción detallada de la forma de realización preferida

En la figura 25 de los dibujos se muestra un conjunto de disco de ruptura de combado inverso 10 que incorpora los conceptos preferidos de esta invención. El conjunto de disco 10 incluye un disco de ruptura 12 y un anillo de soporte 14 fijado al mismo. Los componentes del conjunto de disco de ruptura 10 preferentemente se fabrican a partir de material metálico resistente a la corrosión, como por ejemplo alguno de una pluralidad de metales convencionales resistentes a la corrosión, como aleaciones de acero inoxidable, Hastalloy-C, MONEL, INCONEL y níquel. El disco de ruptura 12 presenta una sección abombada central 16 y una parte de reborde anular 18 que circunscribe la sección abombada 16. Una zona de transición 20 une la periferia interior de la parte de reborde 18 al margen circular exterior de la sección abombada 16.

La sección abombada 16 del disco de ruptura 12 presenta una región relativamente pequeña 22 que está ubicada centrada en la sección abombada 16 y particularmente centrada en el vértice de la sección abombada 16. Sin embargo, recae dentro del alcance de la presente invención que la región 22 esté desplazada del eje central de la sección abombada 16, por ejemplo, tal como se muestra en la figura 23. El metal de la región 22 presenta una estructura de grano alterada y muestra una mayor resistencia a la tracción que el resto de la sección abombada 16 y se ha formado mediante hendidura en la superficie convexa 16a y, a continuación, retorna la hendidura a su posición inicial de modo que la superficie convexa 16a de la sección abombada 16 sea lisa sin interrupciones significativas. Se entenderá que recae dentro del alcance de la presente invención que la sección abombada 16 se proporcione sin dicha región de estructura de grano alterada teniendo en cuenta la aplicación particular para la que se ha concebido el disco.

La sección abombada 16 del disco de ruptura 12 está provista de un rebaje semicircular de línea de apertura 24 que se encuentra en la sección abombada 16 del disco, interior y generalmente complementaria con la zona de transición 20, tal como se ilustra en la figura 27.

El anillo de respaldo 14 presenta un cuerpo anular principal 30 configurado para servir de base de la parte de reborde 18 del disco de ruptura 12. En la figura 26 se puede observar que el borde interior del cuerpo anular 30 presenta un diente 32 que sobresale hacia dentro y ligeramente hacia arriba hacia la sección abombada 16. Una lengüeta 36 presenta una forma integrada con el cuerpo 30 y se extiende interiormente y hacia arriba hacia la sección abombada 16.

En la condición de ensamblado, el cuerpo anular del anillo de soporte 30 se fija al reborde 18 del disco 12 mediante fijaciones 40 que pueden comprender tornillos, soldaduras por puntos, adhesivo u otros medios de fijación equivalentes. La lengüeta 36 del anillo de respaldo 14 preferentemente se sitúa entre los extremos terminales 26 y 28 del rebaje de línea de apertura 24 y actúa como respaldo para el área de articulación 42 de la sección abombada 16 del disco de ruptura 12 definido mediante el rebaje de línea de apertura 24. La punta de diente 32 se configura directamente para que sirva de base del rebaje de línea de apertura 24 y para que haga contacto con el rebaje 24, de modo que colabore en la apertura de la sección abombada 16 después de la inversión del disco 12. Se puede proporcionar una junta anular (que no se muestra) asociada con la parte de reborde y el anillo de soporte del conjunto de disco.

El disco de ruptura 12 se fabrica a partir de una chapa 13 de material resistente a la corrosión (figura 1) tal como se ha descrito con anterioridad, que se puede desenrollar de un rollo grande del metal seleccionado o se puede suministrar como material en chapa. Una pieza en bruto de disco 15 se estampa, se corta por láser o se corta utilizando el mecanizado por descarga eléctrica (EDM) a partir de la chapa 13. Preferentemente, la pieza en bruto de disco 15 presenta una espiga de alineación unitaria periférica 17. La fabricación del disco de ruptura 12 preferentemente se realiza en dos etapas. La primera etapa entraña el preabombado del disco de modo que forme una hendidura en la superficie convexa de una pieza en bruto de disco 15. La segunda etapa entraña el abombado final del disco en condiciones de manera que la hendidura en la superficie convexa de la sección abombada del disco se deshaga retornando la región de segmento con hendidura de la sección abombada a su posición inicial.

En la figura 4 se muestra de forma esquemática un accesorio 46 para formar una hendidura de configuración predeterminada en la pieza en bruto de disco de ruptura de metal. A este respecto, se deberá entender que la representación esquemática del accesorio 46 es solo para fines ilustrativos y no pretende ser representativa de un tipo particular de accesorio para llevar a cabo el resultado deseado. El anillo base inferior 48 del accesorio 46 que, en su forma de realización preferida es de configuración cilíndrica, presenta una abertura central 50. El anillo de pinzado cilíndrico 52 del accesorio 46 prevé un paso central 54 alineado con, y presenta la misma conformación y área de sección transversal que la abertura 50. El miembro de tapa 56 cierra el extremo superior abierto del paso 54 del anillo de pinzado 52. Una abertura 58 en la pared lateral del anillo de pinzado 52 permite que un gas como el aire salga del interior del anillo de pinzado 52. Aunque no se ilustra, se deberá entender que

el anillo base 48 y/o el anillo de pinzado 52 presentan una/s ranura/s para recibir de forma que se complemente la espiga 17 de una pieza en bruto de disco 15 respectiva, de modo que dichas piezas en bruto 15 se ubiquen todas de forma repetitiva en el accesorio 46 en la misma posición.

Un pilar de desviación alargado 60 se sitúa dentro del paso 54 y preferentemente se acopla a un elemento de soporte 62 que se apoya contra la cara inferior de la tapa 56. Después de emplazar la pieza en bruto de disco de metal 15 en el anillo base de soporte 48, el disco 15 se pinza en su lugar mediante un anillo 52 y un anillo base 48 situados tal como se muestra en estrecha relación con el paso 54. Aunque en una forma de realización preferida la extremidad más lejana del pilar 60 es semiesférica, tal como se muestra en la figura 5, el extremo terminal del pilar 60 puede ser cuadrado, con una sección transversal en forma de estrella o con cualquier otra configuración deseada. El pilar 60 presenta una longitud tal, que el extremo terminal 64 descansa contra la superficie 66 de la pieza en bruto de disco 15.

Se introduce el aire bajo una presión de preabombado en el accesorio 46 a través de una abertura central 50 para llevar a cabo el preabombado de la pieza en bruto de disco 15, que provoca el desvío de la región de segmento 68 del disco 15 con respecto al cuerpo principal de la sección preabombada 16b en una dirección hacia abajo, tal como se muestra en la figura 6. La profundidad de la región de segmento con hendidura 68 y la configuración y la extensión de dicha hendidura dependen del diámetro del pilar 60, de la conformación y el radio del extremo semiesférico 64 del pilar 60 y de la presión aplicada a la superficie 70 de pieza en bruto de disco 15. En el caso de un pilar 60 que presente un extremo semiesférico 64, la región de segmento con hendidura 68 prevé una parte generalmente semiesférica 68a y una superficie estrechada algo cónica 68b que lleva a y termina en la parte de cuerpo principal 16b de la sección abombada 16. Al observar la figura 7, se puede apreciar que la región de segmento con hendidura generalmente semiesférica central 68a se encuentra circundada por una parte con hendidura generalmente de forma circular u ovalada 68b que se proyecta hacia fuera desde la región de segmento con hendidura 68a. Durante la aplicación de presión a la pieza en bruto de disco 15 para preabombar la pieza en bruto de disco, el aire dentro de la cavidad definida por el paso 54 y la tapa 56 puede escapar del paso 54 por la abertura 58 en el anillo de pinzado 52.

Una vez finalizada la etapa de preabombado, la tapa 56 y el pilar de desviación 60 asociado se retiran del anillo de pinzado 52. Se aplica presión a la cara cóncava 16c de la pieza en bruto de disco 15 para completar el abombado final de la sección abombada 16 del disco de ruptura 12, tal como se muestra en la figura 9. La cantidad de presión aplicada durante el abombado final del disco de ruptura 12 debería resultar adecuada no solo para abombar completamente el disco 12 formando la sección abombada 16, sino que también debería resultar suficiente para retornar la región de segmento con hendidura 68 a su posición inicial, tal como se muestra en la figura 10. Por lo tanto, tal como se muestra en las figuras 11 y 12, la superficie convexa de 16a de la sección abombada 16 es lisa e ininterrumpida en toda su área, incluida la región de segmento 68 que define la región 22. La hendidura de la región de segmento 68 seguida por el retorno de dicha hendidura a su posición inicial da lugar a que el metal de la región 22 presente una estructura de grano alterada, tal como se muestra esquemáticamente en la figura 13.

Se ha observado que, al formar una hendidura 68 en la pieza en bruto de disco 15 durante el preabombado del disco, en el que la deformación del metal tiene lugar de forma plástica en una dirección y, a continuación, tiene lugar la deformación plástica del metal en la dirección opuesta durante el abombado final de la pieza en bruto de disco 15, retornando así el metal a su posición original con las superficies cóncavas y convexas opuestas del área 68 complementarias a la curvatura de las caras cóncava y convexa opuestas de la sección abombada 16, la inversión de la sección abombada a una la presión predeterminada y preseleccionada se inicia en el área 68. Este inicio de la inversión en la posición estratégica del área 68 es atribuible a la condición de doble pretensado del área 68, y no como resultado de la geometría de la sección abombada 16. Debido a que la estructura de grano del metal en el área 68 se ha alterado como resultado de la desviación de dicha área en una dirección y, a continuación, la deflexión de esa misma área en una dirección opuesta, los cambios resultantes en la estructura granular del metal dan lugar a que el área 68 empiece la inversión antes que el resto del área de superficie de la sección abombada 16. La inversión más fiable y la apertura completa de la sección abombada 16 a lo largo de la línea de rebaje de apertura 24 se obtienen cuando se somete a esfuerzo el metal en dos direcciones en el área 68.

El anillo de soporte 14 se fija al reborde 18 del disco de ruptura abombado 12 utilizando fijaciones adecuadas y que soportan la sección abombada 16. La lengüeta 36 se alinea sustancialmente con el área de articulación 42 de la sección abombada 16 y la espiga 17 del disco de ruptura 12.

El conjunto de disco de ruptura 10 se adapta para su montaje entre acoplamientos con rebordes del tipo ilustrado en las figuras 6 a 9 de la patente de EE.UU. nº 6.318.576 con la superficie convexa 16a del disco de ruptura 12 orientada hacia el lado del proceso del equipo que se va a proteger. El brazo 44 en el anillo 30 proporciona al instalador del conjunto de disco 10 información sobre la orientación correcta del conjunto entre los acoplamientos de reborde durante la instalación para asegurar que la superficie convexa 16a del disco de ruptura 12 esté orientada hacia el lado del proceso del equipo. El brazo 44 también es un indicador visual permanente de que un disco instalado está en la orientación adecuada.

En el caso que tenga lugar una condición de sobrepresión en el recipiente del proceso o en la tubería protegida por el conjunto de disco de ruptura 10, que sea suficiente para llevar a cabo la inversión de la sección abombada 16, la sección abombada 16 se abre a lo largo del rebaje de línea de apertura 24 mientras se retiene por la parte de articulación 42. La ruptura de inversión se inicia en el segmento 68 que define la región 22 como consecuencia de la estructura de grano alterada y mucho más sometida a esfuerzos de la región de segmento 68. Debido a la existencia de la región 22 más sometida a esfuerzos en la sección abombada 16, se considera que la sobrepresión ejercida en la cara convexa 16a de la sección abombada 16 inicia la inversión de la sección abombada 16 y, en última instancia, da lugar a la apertura de la sección abombada 16 a lo largo de la longitud del rebaje de línea de apertura 24.

Se ha descubierto de forma casual que, al desviar un segmento de lo que llegará a ser la sección abombada 16 del disco, tal como se ha descrito en detalle con anterioridad y, a continuación, retornar ese segmento a su posición inicial para presentar una superficie convexa suave e ininterrumpida, la inversión del disco está en función de la discontinuidad de la estructura de grano en la región de segmento 68. Esta revelación se debe contraponer con proporcionar solo una depresión en el disco, tal como se muestra y se describe en la patente de EE.UU. nº 6.494.074, en la que la ruptura se inicia como resultado de una geometría de carga alterada y la posterior distribución de esfuerzos de la superficie convexa modificada.

Un disco 12 a título de ejemplo preparado de acuerdo con el proceso de realización preferido de la presente invención y que se muestra en la figura 10 se fabrica preferentemente en acero inoxidable 316 de espesor 16 mil y presenta un diámetro total de aproximadamente 15,24 cm (6 pulgadas). El preabombado del disco 12, tal como se ilustra esquemáticamente en la figura 6, se lleva a cabo bajo una presión de aproximadamente 5,51581 bar (80 psig) para formar una depresión 68 en la pieza en bruto de disco 44, tal como se muestra en la figura 6. El abombado final del disco, tal como se muestra esquemáticamente en las figuras 9 y 10, se realiza bajo una presión de aproximadamente 37,9212 bar (550 psig) produciendo un disco abombado en el que la altura de la cúpula es de aproximadamente 2,8575 cm (1,125 pulgadas). El disco abombado final se somete a continuación a un tratamiento térmico a una temperatura de aproximadamente 315,556 °C (600 °F) durante 10 minutos para aliviar adicionalmente las tensiones residuales en el disco. La delimitación exterior 91 (figura 12) de la región de segmento de metal 68 de la sección abombada del disco, que se ha sometido a un mayor esfuerzo que el metal restante de la sección abombada 16 presenta un área nominal de aproximadamente 6,903212 cm^2 (1,07 pulgadas cuadradas). La región de segmento 68 en el disco a modo de ejemplo de la figura 12 se ubica centralmente en la sección abombada 16. Este disco presenta una presión de estallido nominal de aproximadamente 10,3421 bar (150 psig).

Se ha descubierto de forma casual que al variar la presión aplicada a la pieza en bruto de disco 15 en el accesorio 46 para llevar a cabo el preabombado del disco contra el pilar 60, la presión de inversión del disco abombado final, en el que en el área 68 de la sección abombada 16 se ha realizado una hendidura en una dirección y luego se ha allanado en la dirección opuesta, la presión de inversión del disco se puede variar de manera similar. Al aumentar la presión de preabombado para hacer más profunda la hendidura inicial en la sección abombada del disco y, a continuación, allanar la hendidura durante el abombado final del disco, se ha observado que la inversión del disco de ruptura será a una presión más baja. Por consiguiente, el rango de presiones de inversión que se puede lograr utilizando un espesor particular de material es más amplio que un disco que presenta una hendidura en una dirección que no se allana posteriormente, debido al endurecimiento mecánico bidireccional del metal en dos etapas en comparación con la desviación en una sola dirección del material. Este mayor rango de presiones de inversión predecibles se considera en gran medida atribuible al efecto aditivo del endurecimiento mediante esfuerzo en dirección opuesta del metal y al consiguiente cambio sustancial en la estructura del grano. En el caso de una hendidura permanente en una dirección en el metal, se cree que la inversión del disco depende principalmente de la geometría del vector fuerza. Por lo tanto, al pre-abombar el disco a diferentes presiones para obtener diferentes profundidades de las hendiduras iniciales en la sección abombada de la pieza en bruto de disco, seguido por el abombado final del disco hasta el punto de allanado de la hendidura, se pueden establecer empíricamente las presiones de inversión de los discos resultantes y se pueden anotar los resultados para una duplicación posterior. Estos análisis empíricos están en función del tipo de material utilizado para fabricar el disco de ruptura, el espesor de este material y el diámetro del disco.

Tal como se ha indicado anteriormente, desde hace mucho tiempo se conoce el hecho de proporcionar un rebaje de línea de debilidad o una línea de estriado en una cara de la parte abombada de un disco de ruptura de acción inversa para definir el área del disco que se abre después de la inversión. Una de las técnicas más comunes empleadas anteriormente para crear líneas de debilidad ha sido utilizar una matriz de estriado de metal. La figura 14 es una fotografía en sección transversal de un disco de ruptura que contiene una línea de debilidad formada usando una matriz de estriado. Durante el proceso de estriado, una parte de los granos metálicos que forman la sección abombada del disco se comprime, se altera o se desplaza formando un canal alargado o canaleta. Como resultado, la estructura de grano una vez uniforme de la parte de la sección abombada en la que se encuentra ahora la línea de estriado se ha interrumpido. Dicha estructura de grano metálico interrumpida se puede apreciar claramente en la figura 14.

Los granos metálicos que se encuentran en un área de apertura aún por definir han sido comprimidos y alargados. Por lo tanto, los granos metálicos en el área de apertura ya no son uniformes en todas partes. La interrupción de la estructura de grano metálico da como resultado un endurecimiento mecánico del metal y lleva a una mayor debilidad del metal y a la creación de zonas de esfuerzo. La mayor debilidad y las zonas de esfuerzo del metal limitan la vida útil del disco de ruptura como resultado del agrietamiento por fatiga y de la corrosión por esfuerzo. Los discos producidos con líneas de debilidad de estriado mediante matriz generalmente muestran una vida útil del ciclo reducida, es decir, la capacidad del disco para evitar fallos después de la exposición a múltiples ciclos de presión sucesivos. Muchos de estos discos solo son capaces de soportar 500 ciclos o menos (un ciclo se define como la exposición sucesiva al vacío seguida por la exposición al 90 % de la relación de funcionamiento nominal).

Se ha concebido otra técnica para crear un rebaje de línea de debilidad en la parte abombada de los discos de ruptura de acción inversa que no alteraría ni perturbaría la estructura de grano metálico en el área de apertura de manera que se eviten las características no deseadas asociadas con el estriado de matriz. Esta técnica se describe en la Publicación de Solicitud de Patente de EE.UU. 2006/0237457 (Solicitud S/N 11/096.466). La publicación 2006/0237457 describe un procedimiento en el que se aplica una capa de material resistente a un disco de ruptura abombado final. Se utiliza un láser para retirar una parte del material resistente correspondiente a un rebaje de línea de apertura deseado. A continuación, el disco se somete a una operación de electropulido para retirar el metal del área irradiada con láser del disco de ruptura. La figura 15 es una fotografía en sección transversal de un disco fabricado de acuerdo con este procedimiento.

Tal como se muestra en la figura 15, se forma un rebaje de línea de apertura que comprende dos partes de canal distanciadas separadas por una parte de corona central elevada que presenta una sección transversal generalmente en forma de W. Tal como se puede apreciar, la estructura de grano metálico en el área de apertura no se ha alterado como en el disco de estriado de matriz de la figura 14. Como resultado, se evita la creación de zonas de esfuerzo debido al endurecimiento mecánico del metal y el disco electropulido muestra un ciclo de vida muy mejorado en comparación con el disco de estriado de matriz de la figura 14.

Sin embargo, se ha descubierto que la técnica de electropulido descrita en la publicación 2006/0237457 adolece de ciertas limitaciones, particularmente, cuando se utiliza en conexión con diámetros y espesores de discos más grandes. Con el fin de lograr de manera efectiva y fiable la apertura del disco después de la inversión del mismo, se ha descubierto que el rebaje de línea de apertura debe presentar una profundidad que sea por lo menos el 40 % del espesor de la cúpula del disco, en ciertas formas de realización entre aproximadamente el 40 % y aproximadamente el 75 % del espesor de la cúpula del disco y en formas de realización adicionales entre aproximadamente el 45 % y aproximadamente el 60 % del espesor de la cúpula del disco. Tal como se utiliza en la presente memoria, el término "espesor de la cúpula del disco" se define como el espesor medido del material de la cúpula del disco en la región en la que se forma el rebaje de línea de apertura.

Los discos formados a partir de piezas en bruto más gruesas, por ejemplo, por lo menos 0,02032 cm (0,008 pulgadas), requieren periodos mucho más largos de electropulido para lograr la profundidad de rebaje de línea de apertura deseada. Por lo tanto, la anchura del rebaje de línea de apertura también aumenta. La tabla 1 muestra a continuación este fenómeno para un disco fabricado a partir de piezas en bruto de acero inoxidable 316 que presentan un espesor de 0,04064 cm (0,016 pulgadas) y que presentan un diámetro de cúpula de 10,16 cm (4 pulgadas).

Tabla 1

Profundidad promedio del rebaje (% del espesor de la cúpula)	Promedio de anchura del rebaje centímetros (pulgadas)
35,2 %	0,1524 cm (0,060 pulgadas)
40,5 %	0,15748 cm (0,062 pulgadas)
50,8 %	0,18542 cm (0,073 pulgadas)
60,5 %	0,2032 cm (0,080 pulgadas)

Se ha observado que, a medida que aumenta la anchura del rebaje, el comportamiento del disco se ve afectado de forma adversa. A medida que aumenta la anchura del rebaje, el rebaje de línea de apertura comienza a controlar la presión de estallido del disco, en lugar de, por ejemplo, la región de segmento 68. Por lo tanto, la inversión del disco tenderá a iniciarse prematuramente en el rebaje de línea de apertura. Esto conduce a características de apertura del disco menos predecibles, como la inversión del disco a presiones muy por debajo de la presión de estallido nominal y a fluctuaciones de presión de estallido no deseadas.

La figura 30 es un diagrama que muestra algunos de los límites prácticos de la formación de rebajes de línea de apertura en varios discos utilizando la técnica de electropulido. En esta figura, se muestra la relación entre el diámetro de la cúpula del disco y la anchura máxima de un rebaje de línea de apertura (expresado como un

porcentaje del diámetro de la cúpula). Los datos, que se corresponden con una línea de tendencia lineal, identifican puntos en los que la capacidad de mantener un control satisfactorio sobre la presión de estallido del disco se pierde cuando se forma el rebaje de línea de apertura utilizando la técnica de electropulido. La pérdida de control sobre la presión de estallido se identifica cuando el disco que presenta un rebaje de línea de apertura estalla a una presión que es por lo menos un 5 % menor que la de un disco que incluye solo el segmento 68 y no presenta ningún rebaje de línea de apertura. El control sobre la presión de estallido de los discos que presentan diámetros de cúpula más pequeños se puede mantener con anchuras de rebaje que son un porcentaje mayor del diámetro de cúpula del disco en comparación con los discos con diámetros de cúpula más grandes. Sin embargo, en general a medida que aumenta el diámetro de la cúpula también lo hace el espesor del material del disco. En consecuencia, dichos discos más grandes requieren períodos más largos de electropulido para lograr la profundidad requerida del rebaje, lo que también tiende a aumentar el ancho del rebaje. Por lo tanto, la utilización de la técnica de electropulido generalmente no es aceptable para discos más gruesos y de mayor diámetro.

La presente invención supera los problemas asociados con el estriado tratados en la presente memoria debido a que la estructura del grano no se altera. Se observa que el rebaje formado de acuerdo con la presente invención se conoce como un rebaje de "línea de apertura" en lugar de un rebaje de "línea de debilidad". La presente invención permite un aumento del ciclo de vida, tal como se menciona en la presente memoria, lo que generalmente no es el caso de los discos que presentan rebajes de línea de debilidad formados mediante estriado de matriz.

Las figuras 17 a 19 muestran un procedimiento para crear un rebaje de línea de apertura en un disco de ruptura de acción inversa de acuerdo con una forma de realización de la presente invención. Retornando primero a la figura 17, el disco de ruptura 12 se muestra en una vista parcial en sección transversal. Se muestra una fresa 72 que presenta un extremo de fresado 74 realizando una pasada inicial en la cara cóncava 16c y formando un rebaje de línea de apertura 24. Tal como se muestra, el extremo de fresado 74 presenta una conformación semiesférica, sin embargo, se encuentra dentro del alcance de la presente invención que el extremo de fresado 74 presente configuraciones alternativas como por ejemplo cónica, cilíndrica o esférica (conformado en bola) dependiendo de la geometría deseada del rebaje de línea de apertura. En ciertas formas de realización de acuerdo con la presente invención, se prefiere utilizar una fresa conformada en bola o la fresa semiesférica ilustrada, de modo que el rebaje de línea de apertura 24 presente una configuración lisa y arqueada, sin la presencia de bordes o esquinas agudos. El extremo de fresado 74 puede ser de cualquier material adecuado para cortar el metal del que se fabrica el disco 12. En ciertas formas de realización, el extremo de fresado 74 puede comprender diamante, carburo o una aleación de metal que sea más dura que el metal del disco.

Los parámetros de funcionamiento particulares de la fresa para formar el rebaje de línea de apertura 24 dependen de diversas variables: el diámetro del extremo de la fresa, la velocidad de la fresa y el ritmo de alimentación de la fresa. La velocidad de la fresa se define como la velocidad de giro de la fresa y el ritmo de alimentación de la fresa es la velocidad a la que dicha fresa se mueve a lo largo de la superficie que se está cortando. En ciertas formas de realización de la presente invención, la fresa utilizada presenta un diámetro de entre aproximadamente 0,0508 cm (0,020 pulgadas) y aproximadamente 0,1524 cm (0,060 pulgadas). Además, en ciertas formas de realización de la presente invención, la fresa funciona a una velocidad de fresa de por lo menos 10000 RPM, y en otras formas de realización en el rango entre aproximadamente 10000 RPM y aproximadamente 40000 PM. En otras formas de realización de la presente invención, la fresa funciona a un ritmo de alimentación de por lo menos 25,4 cm/min (10 pulgadas/min) y todavía en otras formas de realización adicionales entre aproximadamente 25,4 cm/min (10 pulgadas/min) y aproximadamente 152,4 cm/min (60 pulgadas/min).

Una vez completada la primera pasada, la fresa 72 puede realizar una pluralidad de pasadas adicionales, sirviendo cada una de las mismas para aumentar aún más la profundidad del rebaje de línea de apertura 24. La figura 18 muestra una segunda pasada del extremo de fresado 74 en la cara convexa 16c en la que se ha incrementado la profundidad y anchura del rebaje 24. La figura 19 muestra otra pasada adicional del extremo de fresado 74 en el que la profundidad y la anchura del rebaje 24 se han incrementado de nuevo. El número de pasadas realizadas por la fresa 72 dependerá de varios factores que incluyen la dureza del material del que se forma el disco, el material del extremo de fresado y la profundidad deseada del rebaje de línea de apertura. Tal como se expone a continuación, cada pasada respectiva se lleva a cabo sin alterar la estructura de grano metálico sustancialmente uniforme del metal que queda atrás.

La figura 16 es una fotografía en sección transversal de un disco de ruptura con un rebaje de línea de apertura formado en el mismo. Resulta evidente que la estructura de grano metálico del metal del disco que permanece después de que se forme el rebaje se mantiene sustancialmente uniforme. El metal restante no muestra signos de endurecimiento mecánico, como es el caso del disco que contiene el rebaje de línea de debilidad de estriado de matriz de la figura 14. En particular, la parte del disco que contiene el rebaje de línea de apertura, que se describe a continuación como un área de apertura 76 (véase la figura 20), muestra una estructura de grano metálico sustancialmente uniforme. Además, la estructura de grano metálico del área de apertura permanece sustancialmente en su estado intrínseco, es decir, la estructura de grano anterior a cualquier operación de

fresado. La falta de endurecimiento mecánico permite que los discos realizados de acuerdo con la presente invención presenten una excelente vida útil de más de 10000 ciclos sin fallos.

Además, el procedimiento descrito anteriormente no se limita a su realización solo en discos de ruptura de acción inversa. Este procedimiento se puede emplear durante la fabricación de cualquier dispositivo de alivio de presión o precursor. Por ejemplo, el rebaje de línea de apertura se puede crear en la pieza en bruto de disco 15 (figuras 2 y 3), un disco preabombado 15 tal como se muestra en las figuras 6 y 8, y discos de ruptura de acción por avance. Sin embargo, en cada caso, el rebaje de línea de apertura se forma en el área de la abertura 76, todavía por describir, del dispositivo de alivio de presión o del precursor.

Retornando a la figura 20, se muestra un disco de ruptura metálico de acción inversa 12 que comprende una parte abombada 16 que presenta unas caras opuestas convexa y cóncava, 16a y 16c, respectivamente. El rebaje de línea de apertura 24 se forma en la cara cóncava 16c de la parte abombada 16 y, particularmente, en una sección de la parte abombada 16, que se denomina área de apertura 76. El área de la abertura 76 se define mediante un par de márgenes 78, 80 que se extienden desde los bordes opuestos del rebaje de línea de apertura 82, 84 por el material del disco hasta la cara convexa 16a. Por lo tanto, los márgenes 78, 80 intersecan las caras 16a, 16c de un modo sustancialmente perpendicular. Los bordes 82, 84 se forman mediante la intersección de la cara cóncava 16c y el rebaje 24 y generalmente definen la anchura máxima del rebaje 24.

También se encuentra dentro del alcance de la presente invención la formación del rebaje de línea de apertura 24 en la cara convexa 16a de la parte abombada 16, tal como se muestra en la figura 24. En esta forma de realización particular, el área de apertura 76 se define esencialmente de la misma manera que se ha descrito anteriormente. Sin embargo, los bordes 82, 84 se forman por la intersección de la cara convexa 16a y el rebaje 24.

El rebaje de línea de apertura 24 comprende un canal único que presenta una profundidad que se extiende desde la cara cóncava 16c o desde la cara convexa 16a hacia el interior hacia la otra de dichas caras. Tal como se utiliza en la presente memoria, el término "canal único" se define como un canal o canaleta formado en el disco que está delimitado mediante márgenes laterales que se inclinan de manera lisa y continua desde la superficie exterior del disco hacia un punto central más profundo del canal. El término "canal único" pretende excluir expresamente el rebaje en forma de W que se muestra en la figura 15 y se describe en la publicación 2006/0237457. Retornando a la figura 20, el rebaje 24 comprende un canal alargado 86 que se define mediante los bordes 82, 84 que intersecan la cara cóncava 16c (o la cara convexa 16a en la forma de realización de la figura 24) y los márgenes laterales 88, 90 que se inclinan de forma continua desde los bordes 82, 84 hacia un punto único, más profundo 92 del canal. En ciertas formas de realización de acuerdo con la invención, el canal 86 presenta sustancialmente forma de U en sección transversal tal como se ilustra en la figura 20, o sustancialmente forma de V en sección transversal tal como se ilustra en la figura 21. Aunque, en ciertas formas de realización, se desea evitar la presencia de puntos o bordes agudos, ya que dicha presencia tiende a crear zonas de esfuerzo en la parte abombada 16 que pueden afectar las características de estallido y la vida útil del disco.

En la forma de realización que se muestra en la figura 20, el canal 86 presenta una conformación cóncava, arqueada y continua que se extiende desde el borde 82 al borde 84. El canal 86 no presenta partes de corona elevadas como las que aparecen en los rebajes de línea de apertura realizados de acuerdo con la técnica de electropulido descrita en la publicación '547.

La Tabla 2 demuestra la eficacia de la presente invención para controlar la anchura del rebaje de línea de apertura mientras se alcanza la profundidad requerida. Estas mediciones se obtuvieron mediante el fresado de un rebaje de línea de apertura en un disco de 15,24 cm (6 pulgadas) formado en acero inoxidable 316 de 0,04064 cm (0,016 pulgadas) de espesor utilizando un fresa de un diámetro de 0,07874 cm (0,031 pulgadas).

Tabla 2

Profundidad promedio del rebaje (% del espesor de la cúpula)	Promedio de anchura del rebaje centímetros (pulgadas)
48,2 %	0,06604 cm (0,026 pulgadas)
52,0 %	0,06858 cm (0,027 pulgadas)
56,7 %	0,06858 cm (0,027 pulgadas)
71,60 %	0,0762 cm (0,030 pulgadas)

Los datos demuestran que los rebajes que presentan profundidades del 70 % o más del espesor de la cúpula se pueden lograr mediante fresado mecánico con anchuras de rebaje que presentan un tercio de dichos rebajes realizados mediante técnicas de electropulido.

La presente invención resulta particularmente adecuada para su uso en la fabricación de discos de ruptura

metálicos de acción inversa que presenten un espesor nominal de por lo menos 0,02032 cm (0,008 pulgadas). En ciertas formas de realización, los discos de ruptura realizados de acuerdo con la presente invención presentan espesores nominales de por lo menos 0,0254 cm (0,010 pulgadas) o por lo menos 0,04064 cm (0,016 pulgadas). El término "espesor nominal" se refiere al espesor de la chapa metálica o pieza en bruto a partir de la que se forma el disco de ruptura. Los expertos en la técnica pueden comprender que el abombado del disco puede dar lugar a que el metal disminuya en ciertas áreas, particularmente hacia la región del vértice de la cúpula. Sin embargo, el metal que comprende el área de reborde y las partes de la cúpula adyacentes al área de reborde presentarán sustancialmente el mismo espesor que la chapa de metal o la pieza en bruto de disco.

En ciertas formas de realización de la presente invención, el canal 86 presenta una anchura inferior a 0,1524 cm (0,060 pulgadas) y una profundidad de por lo menos 0,01016 cm (0,004 pulgadas). En otras formas de realización, el canal 86 presenta una anchura inferior a 0,1143 cm (0,045 pulgadas) y una profundidad de por lo menos 0,01524 cm (0,006 pulgadas). En otras formas de realización adicionales, el canal 86 presenta una anchura inferior a 0,0889 cm (0,035 pulgadas) y una profundidad de por lo menos 0,02032 cm (0,008 pulgadas). La técnica de electropulido no es capaz de producir canales de dichas anchuras y profundidades. Tal como se ha indicado con anterioridad, para alcanzar las profundidades deseadas, la anchura del rebaje de línea de apertura se extenderá más allá de las delimitaciones de anchura expuestas.

Todavía en otras formas de realización de acuerdo con la presente invención, la parte abombada 16 del disco de ruptura muestra un diámetro D y el canal 86 muestra una anchura máxima W. Cuando D presenta un valor de 3,81 cm (1,5 pulgadas), W no presenta un valor mayor que 0,0508 cm (0,020 pulgadas). Cuando D presenta un valor de 30,48 cm (12 pulgadas), W no presenta un valor mayor que 0,1524 cm (0,060 pulgadas). Para todos los valores de D entre 3,81 cm (1,5 pulgadas) y 30,48 cm (12 pulgadas), W varía sustancialmente de forma lineal entre 0,0508 cm (0,020 pulgadas) y 0,1524 cm (0,060 pulgadas). Esta caracterización de D y W, proveniente por lo menos en parte de la figura 29, asegura que el control sobre la presión de estallido del disco se mantenga siempre que se cumplan los criterios mencionados anteriormente.

El precursor de disco, es decir, el disco existente inmediatamente antes de la formación del rebaje de línea de apertura 24, presenta un área de apertura 76 que comprende una estructura de grano metálico sustancialmente uniforme. Cuando el rebaje de línea de apertura 24 se crea retirando mecánicamente metal del área de la abertura 76, la estructura de grano metálico sustancialmente uniforme del metal restante del área de apertura no se ha alterado respecto al estado original del precursor de disco. Tal como se muestra en la figura 16, los granos metálicos o las partes de los mismos simplemente se han retirado del área de apertura y no se ha producido un endurecimiento mecánico del metal restante.

Tal como se muestra en la figura 22, el rebaje de línea de apertura 24 presenta una configuración generalmente conformada en C y termina con las extremidades finales 26 y 28 en lados opuestos de la parte de articulación 42. Sin embargo, se encuentra dentro del alcance de la presente invención en relación al rebaje de línea de apertura la presentación de configuraciones alternativas como las que se muestran en las figuras 23, 28 y 29.

Retornando a la figura 23, el rebaje de línea de apertura conformada en C se ha reemplazado por dos rebajes de línea de apertura que se intersecan 25 y 27. Dichos rebajes 25 y 27 se extienden desde cerca de una parte de la región de transición 20 por el vértice de parte abombada 16 a la parte opuesta de la región de transición. Los rebajes 25 y 27 se intersecan en una intersección central en o cerca del vértice de la sección abombada 16. De este modo, después de la inversión y de la rotura del disco 12a, la sección abombada 16 se rompe en cuatro pétalos, cada uno de ellos con articulado en una parte respectiva de la región de transición 20.

Tal como se ilustra, los rebajes de línea de apertura 24, 25 y 27 son rebajes continuos e ininterrumpidos. Sin embargo, también se encuentra dentro del alcance de la presente invención que dichos rebajes presenten discontinuidades o que se dividan en una serie de segmentos individuales, distanciados o "truncados".

En la forma de realización que se muestra en la figura 28, el rebaje de línea de apertura presenta tres segmentos unidos: dos segmentos arqueados 31 y 33 y un segmento que se extiende lateralmente 35 que conecta los segmentos 31 y 33. El segmento que se extiende lateralmente 35 también presenta una conformación arqueada desde una perspectiva en vista lateral del disco 12b, ya que necesariamente sigue el contorno de la sección abombada 16. El disco 12b incluye dos secciones de articulación opuestas 42a y 42b, cada una de ellas configurada para retener una parte de la sección abombada 16 después de la apertura del disco. Por lo tanto, esta forma de realización representa una configuración de "doble articulación" en la que el disco forma dos secciones de pétalo después de la apertura.

La figura 29 muestra una ligera modificación que se puede realizar en el patrón de rebaje de línea en cruz de la figura 23. En lugar de un par de rebajes continuos que intersecan, el disco 12c prevé cuatro rebajes diferenciados de línea de apertura 25a, 25b, 27a y 27b que no intersecan. Sin embargo, el disco 12c todavía presenta una configuración para formar cuatro pétalos después del estallido.

En la forma de realización que se muestra en la figura 22, el rebaje de línea de apertura 24 está dispuesto en la

parte abombada 16 en una ubicación más cercana al reborde que al vértice de la parte 16. De este modo, el rasgado de la parte abombada 16 tiene lugar en una ubicación próxima al cuerpo de soporte anular principal 30, lo que permite un soporte amplio para el área de articulación 42 y evita la fragmentación no deseada del disco 12. Se deberá tener en cuenta también que la región 22 que presenta una estructura de grano alterada se muestra en el vértice de la parte abombada 16. Sin embargo, la región 22 también puede estar desplazada con respecto al vértice, tal como se muestra en la figura 23. En cualquier caso, el inicio de la inversión de la parte 16 tiene lugar en la región 22. De este modo, el rebaje de línea de apertura 24 (y, por consiguiente, el área de apertura 76) se encuentra distanciado radialmente de la región 22 y ubicado entre la región 22 y la zona de transición 20.

En ciertas formas de realización de acuerdo con la presente invención, el acabado de la superficie del rebaje de línea de apertura 24 es mayor que aproximadamente 0,1016 µm (4 micropulgadas) de desviación promedio de la superficie media. En otras formas de realización, el acabado de la superficie es mayor que aproximadamente 0,2032 µm (8 micropulgadas) de desviación promedio de la superficie media. De este modo, el rebaje de línea de apertura 24 formado mecánicamente se distingue fácilmente a simple vista del rebaje de línea de debilidad electropulido. El rebaje de línea de debilidad formado mediante la técnica de electropulido exhibe mayor brillo que el rebaje de línea de apertura formado mediante el presente proceso mecánico.

Las formas de realización de la invención descritas anteriormente se deberán utilizar solo a título de ejemplo, y no se deben utilizar en un sentido limitativo al interpretar el alcance de la presente invención. Los expertos en la técnica podrían realizar modificaciones obvias en las formas de realización a título de ejemplo, mostradas con anterioridad, sin apartarse del alcance de la presente invención, solo limitadas por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Disco metálico de ruptura de acción inversa (12) que comprende:

- una parte abombada (16) que presenta unas caras cóncava y convexa opuestas; y
- un área de reborde circundante (18) que rodea dicha parte abombada,
- incluyendo dicha parte abombada (16) por lo menos un rebaje de línea de apertura (24) formado retirando mecánicamente metal de dicha parte abombada (16),
- comprendiendo dicho por lo menos un rebaje de línea de apertura (24) un canal único (86) y presentando una profundidad que se extiende desde una de dichas caras cóncava y convexa interiormente hacia la otra de dichas caras cóncava y convexa,
- presentando dicha parte abombada (16) de dicho disco de ruptura (12) adyacente a dicho canal (86) una estructura de grano metálico sustancialmente uniforme.

2. Disco de ruptura (12) según la reivindicación 1, en el que dicho canal (86) presenta sustancialmente forma de U o sustancialmente forma de V en sección transversal.

3. Disco de ruptura (12) según la reivindicación 1, en el que dicho disco de ruptura (12) presenta un espesor nominal de por lo menos 0,02032 cm (0,008 pulgadas).

4. Disco de ruptura (12) según la reivindicación 3, en el que dicho canal (86) presenta una anchura inferior a 0,1524 cm (0,060 pulgadas) y una profundidad de por lo menos 0,01016 cm (0,004 pulgadas).

5. Disco de ruptura (12) según la reivindicación 1, en el que dicha parte abombada (16) de dicho disco presenta un diámetro D y dicho canal presenta una anchura máxima W,

- cuando D presenta un valor de 3,81 cm (1,5 pulgadas), W no es mayor de 0,0508 cm (0,020 pulgadas);
- cuando D presenta un valor de 30,48 cm (12 pulgadas), W no es mayor de 0,1524 cm (0,060 pulgadas); y
- cuando D presenta un valor de entre 3,81 cm (1,5 pulgadas) y 30,48 cm (12 pulgadas), W varía de forma sustancialmente lineal entre 0,0508 cm (0,020 pulgadas) y 0,1524 cm (0,060 pulgadas).

6. Disco de ruptura (12) según la reivindicación 5, en el que dicho canal (86) presenta una profundidad mínima de por lo menos el 40 % del espesor de la cúpula del disco.

7. Disco de ruptura (12) según la reivindicación 1, en el que se crea dicho por lo menos un rebaje de línea de apertura (24) sin alterar la estructura de grano metálico sustancialmente uniforme de dicha parte abombada adyacente a dicho canal.

8. Disco de ruptura (12) según la reivindicación 7, en el que se crea dicho por lo menos un rebaje de línea de apertura (24) mediante una fresa (72) que presenta un diámetro de fresa de entre aproximadamente 0,0508 cm (0,020 pulgadas) y aproximadamente 0,1524 cm (0,060 pulgadas) funcionando a 10000 RPM o más.

9. Disco de ruptura (12) según la reivindicación 1, en el que dicho por lo menos un rebaje de línea de apertura (24) presenta una configuración generalmente en forma de C.

10. Disco de ruptura (12) según la reivindicación 9, en el que dicha parte abombada (16) presenta un vértice, estando dicho rebaje de línea de apertura (24) dispuesto en dicha parte abombada (16) en una ubicación más cercana a dicho reborde que a dicho vértice.

11. Disco de ruptura (12) según la reivindicación 1, en el que la parte abombada (16) comprende una pluralidad de rebajes de línea de apertura.

12. Disco de ruptura (12) según la reivindicación 11, en el que dicha parte abombada (16) comprende por lo menos dos rebajes de línea de apertura alargados, estando dichos rebajes configurados de manera que, tras la apertura de dicho disco de ruptura (12), éste incluya una pluralidad de secciones de pétalos.

13. Disco de ruptura (12) según la reivindicación 12, en el que dichos por lo menos dos rebajes de línea de apertura se intersecan en o cerca del vértice de dicha parte abombada.

14. Disco de ruptura (12) según la reivindicación 12, en el que dichos por lo menos dos rebajes de línea de

apertura no se intersecan.

15. Disco de ruptura (12) según la reivindicación 11, en el que dicha parte abombada comprende dos rebajes arqueados de línea de apertura interconectados mediante un rebaje que se extiende lateralmente, definiendo dichos rebajes arqueados de línea de apertura un par de secciones de articulación ubicadas entre los mismos.

16. Disco de ruptura (12) según la reivindicación 1, en el que dicha parte abombada presenta un área de debilidad en la que se inicia la inversión de dicho disco después de la exposición a una condición de sobrepresión predeterminada, estando dicha área de debilidad distanciada de dicho por lo menos un rebaje de línea de apertura.

17. Disco de ruptura (12) según la reivindicación 1, en el que dicho por lo menos un rebaje de línea de apertura se forma en la cara cóncava de dicha parte abombada.

18. Procedimiento para formar un rebaje de línea de apertura (24) en un dispositivo metálico de alivio de presión que comprende las etapas de:

- proporcionar un disco de ruptura abombado (12) que presente una parte de alivio de presión configurada para su rotura y su apertura después de una exposición a una condición de sobrepresión predeterminada y un área de reborde circundante (18) que rodea dicha parte de alivio de presión, estando dicha parte de alivio de presión provista de un área de apertura en la que se forma dicho rebaje de línea de apertura (24), presentando dicha área de apertura una estructura de grano metálico sustancialmente uniforme en la totalidad de su extensión; y

- retirar mecánicamente una parte de metal de dicha área de apertura de manera que forme dicho rebaje de línea de apertura (24), retirándose dicha parte de metal sin alterar la estructura de grano metálico sustancialmente uniforme del metal restante de dicha área de apertura.

19. Procedimiento según la reivindicación 18, en el que dicho disco de ruptura abombado (12) comprende una parte abombada (16) y un área de reborde circundante (18), presentando dicha parte abombada unas caras cóncava y convexa opuestas.

20. Procedimiento según la reivindicación 19, en el que dicha área de apertura se encuentra ubicada en dicha parte abombada (16).

21. Procedimiento según la reivindicación 20, en el que dicho rebaje de línea de apertura (24) se forma en dicha área de apertura en dicha cara cóncava.

22. Procedimiento según la reivindicación 18, en el que dicha etapa de retirar mecánicamente una parte de metal de dicha área de apertura se lleva a cabo mediante una fresa (72) que presenta un diámetro de fresa de entre aproximadamente 0,0508 cm (0,020 pulgadas) y aproximadamente 0,1524 cm (0.060 pulgadas) funcionando a 10000 RPM o más.

23. Procedimiento según la reivindicación 22, en el que se crea dicho rebaje de línea de apertura (24) mediante una pluralidad de pasadas de dicha fresa a través de dicha área de apertura, incrementando cada pasada consecutiva la profundidad de dicho rebaje de línea de apertura.

24. Procedimiento según la reivindicación 18, en el que dicho rebaje de línea de apertura (24) comprende un canal único (86) que presenta sustancialmente forma de U o sustancialmente forma de V en sección transversal.

25. Procedimiento según la reivindicación 18, en el que dicho procedimiento incluye además la etapa de crear un área de debilidad en dicha parte de alivio de presión, estando dicha área de debilidad distanciada de dicha área de apertura y de dicho rebaje de línea de apertura (24).

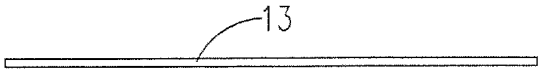


FIG. 1.

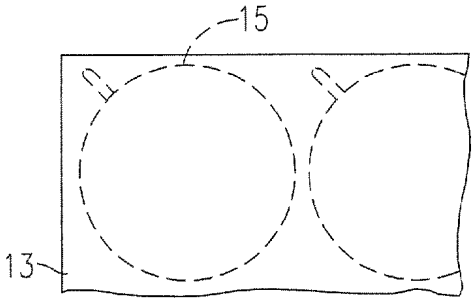
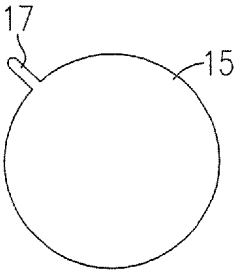


FIG. 2.



PIEZA EN BRUTO DE DISCO

FIG. 3.

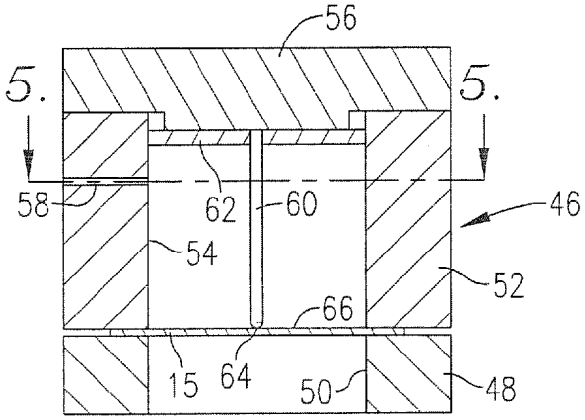


FIG. 4.

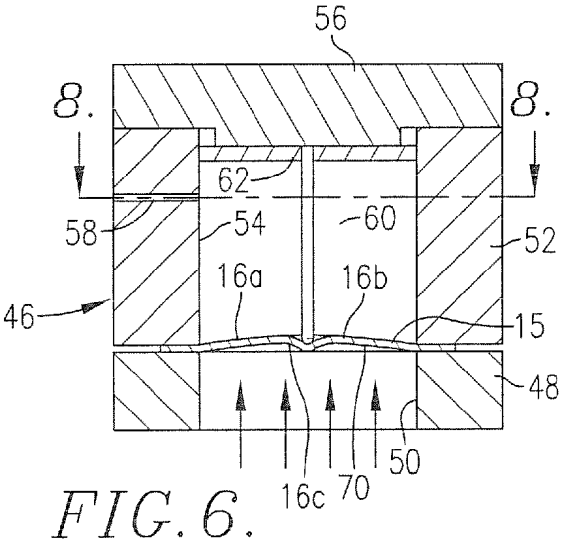
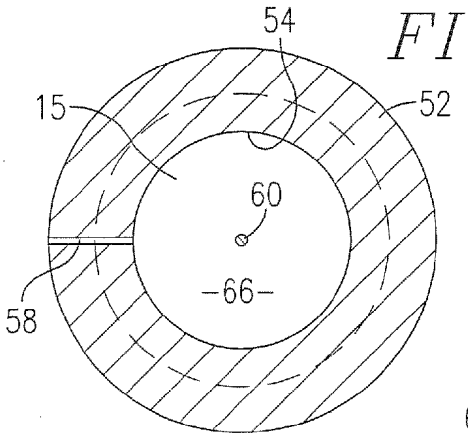


FIG. 6.

FIG. 5.



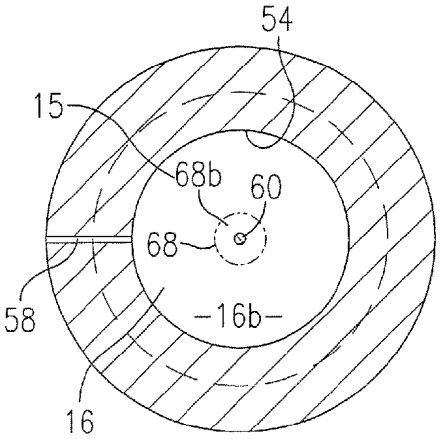
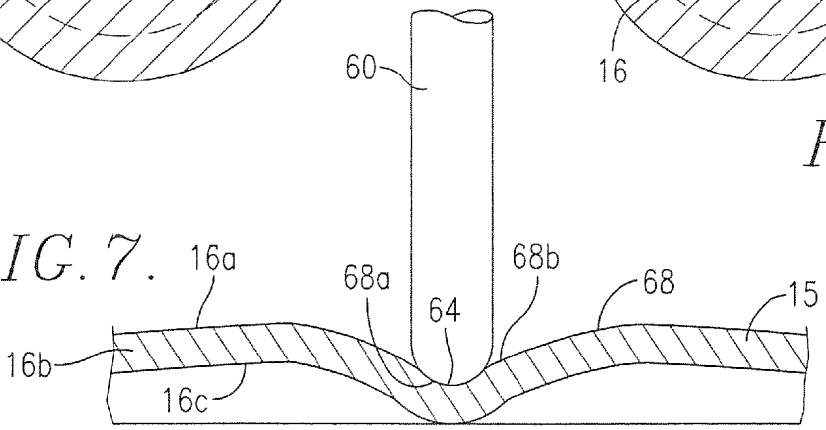


FIG. 8.

FIG. 7.



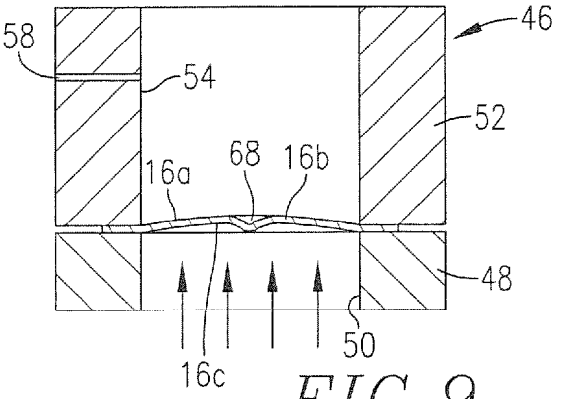


FIG. 9.

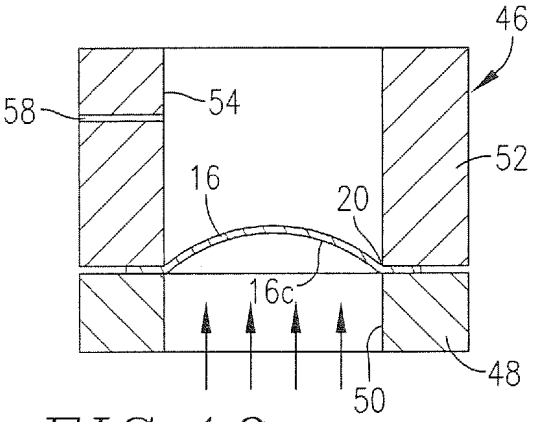
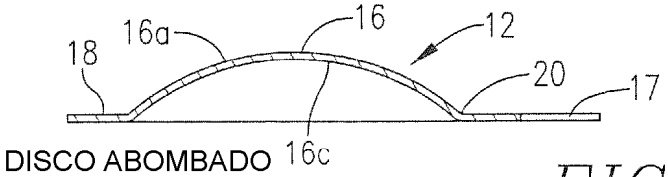


FIG. 10.



DISCO ABOMBADO

FIG. 11.

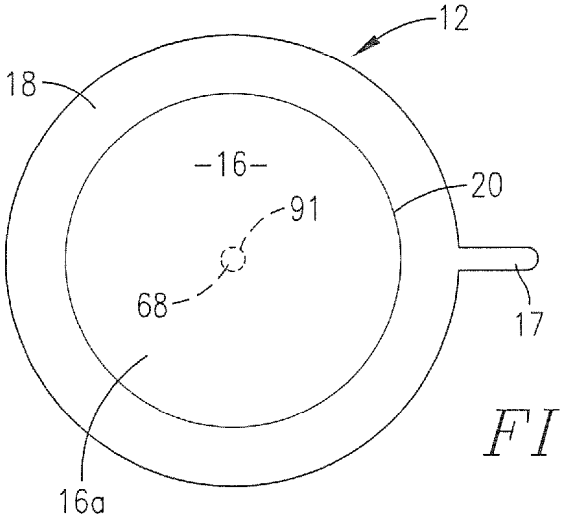
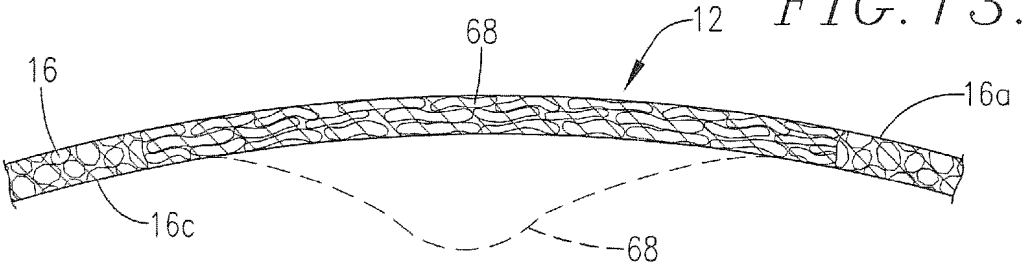


FIG. 12.

FIG. 13.



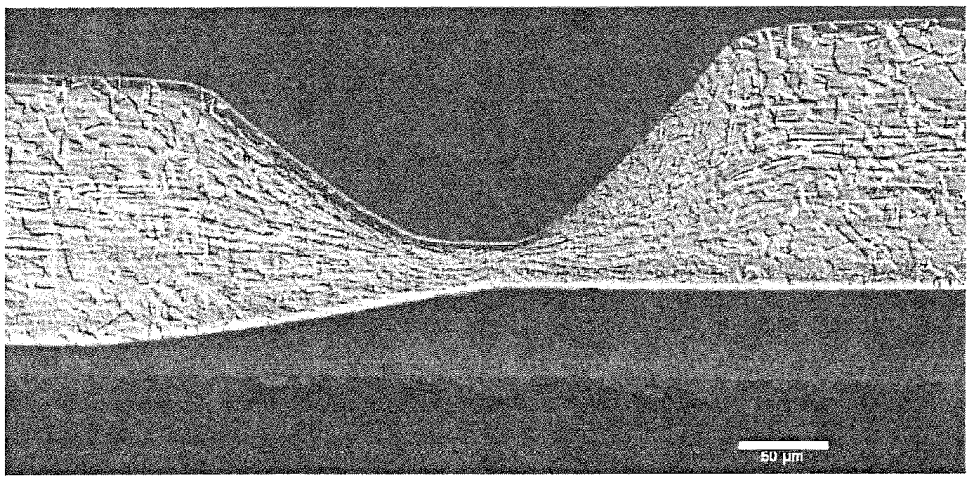


FIG. 14. TÉCNICA ANTERIOR

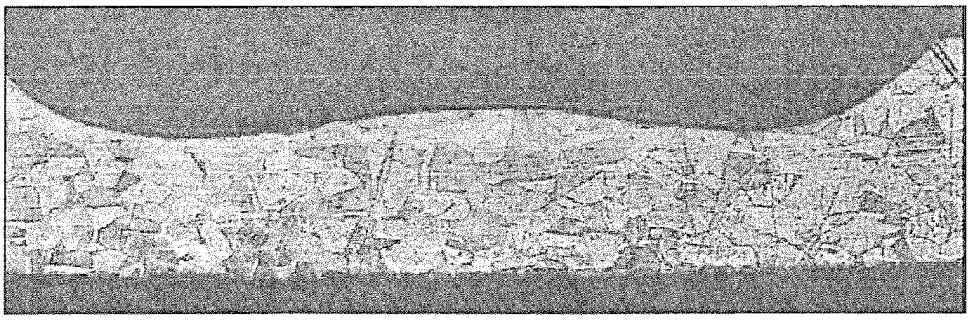


FIG. 15. TÉCNICA ANTERIOR

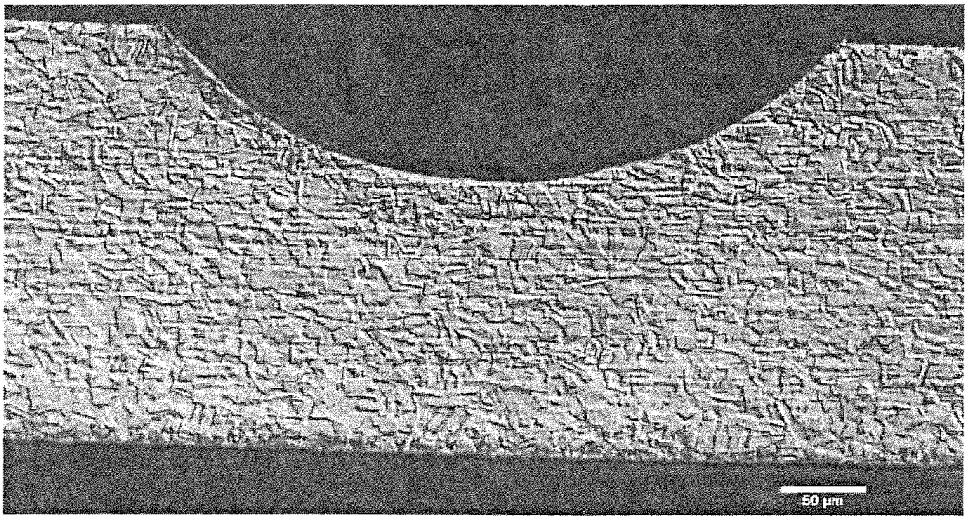


FIG. 16.

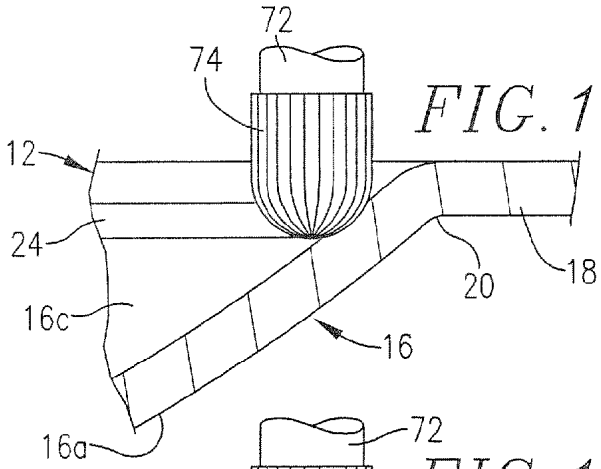


FIG. 17.

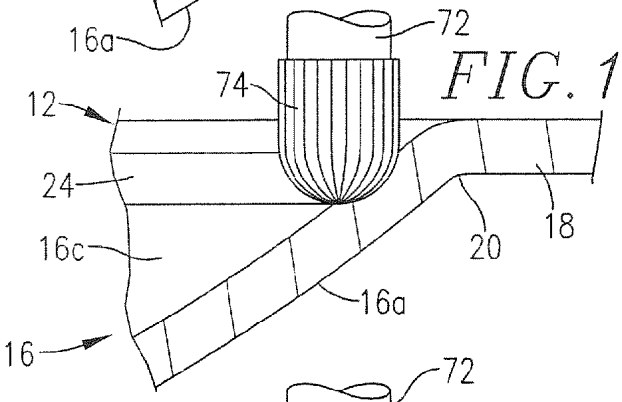


FIG. 18.

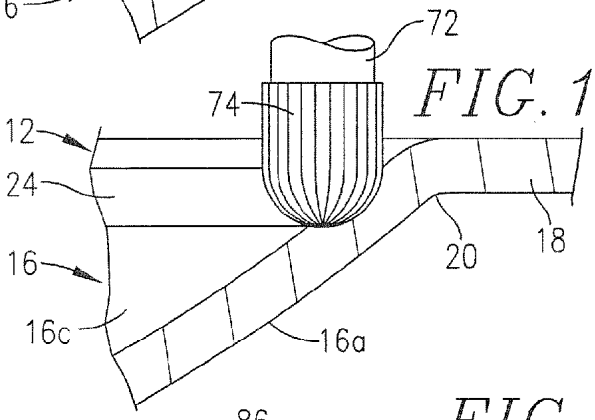


FIG. 19.

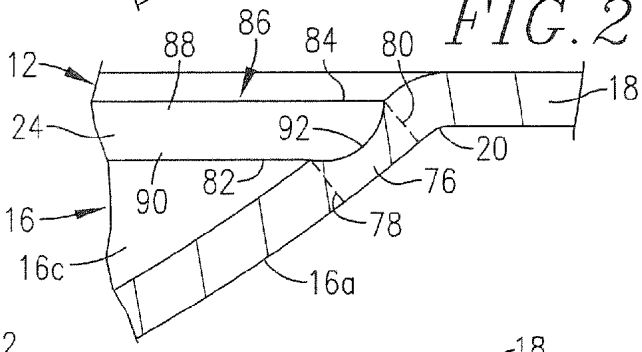


FIG. 20.

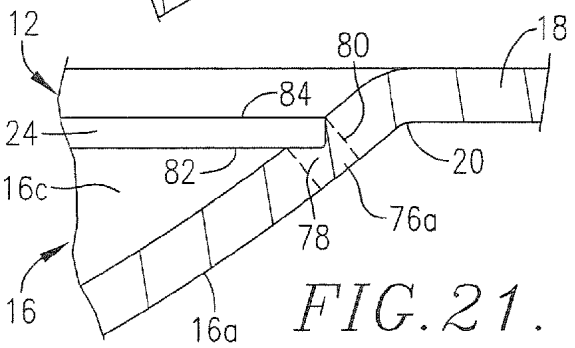


FIG. 21.

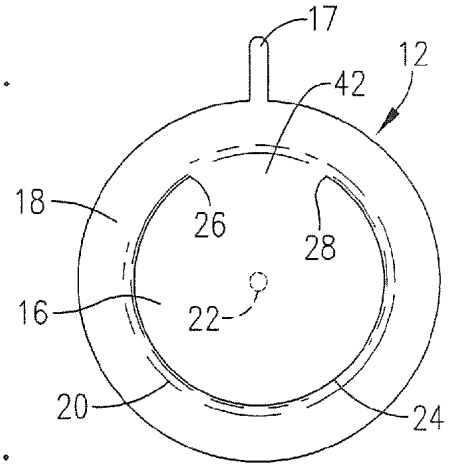


FIG. 22.

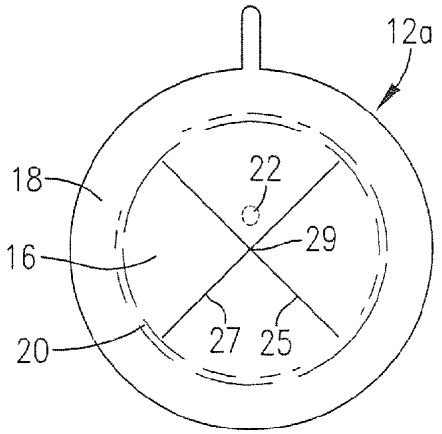


FIG. 23.

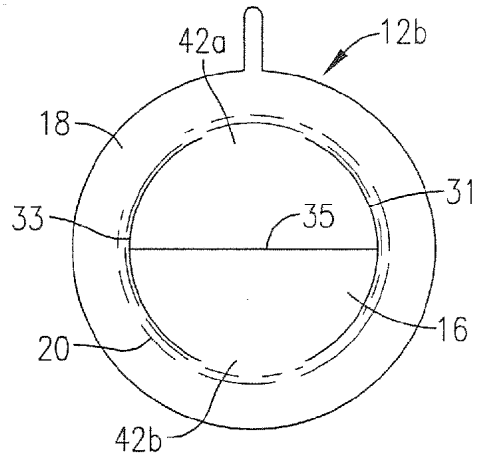


FIG. 28.

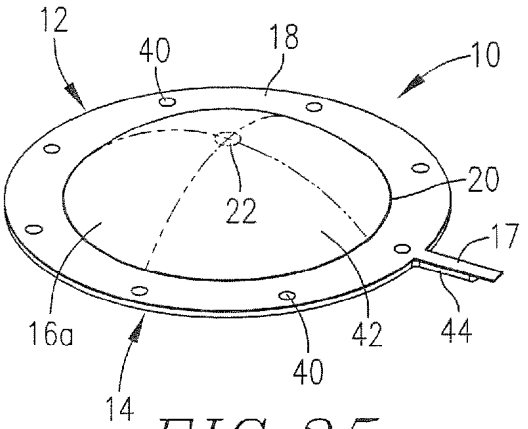


FIG. 25.

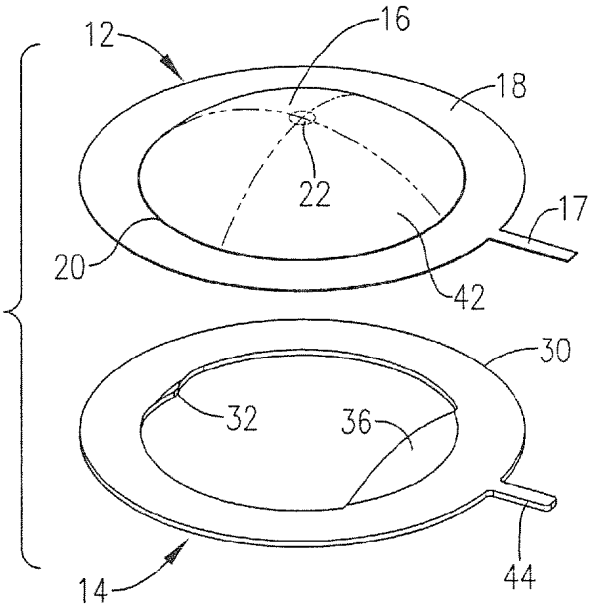
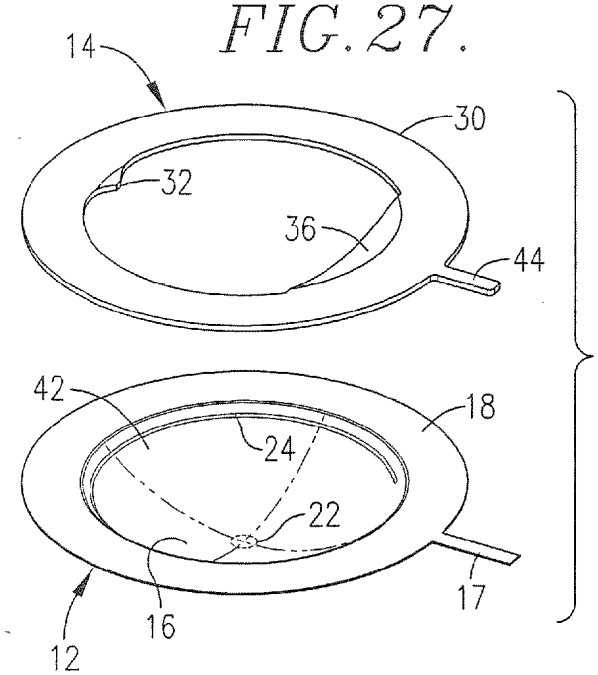


FIG. 26.

FIG. 27.



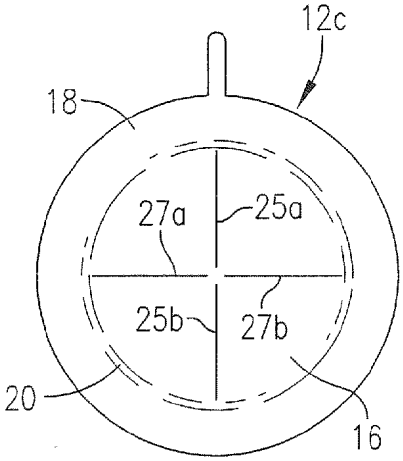


FIG. 29.

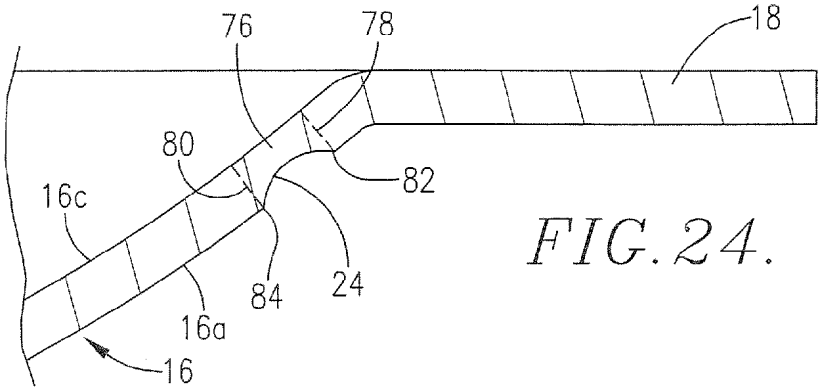
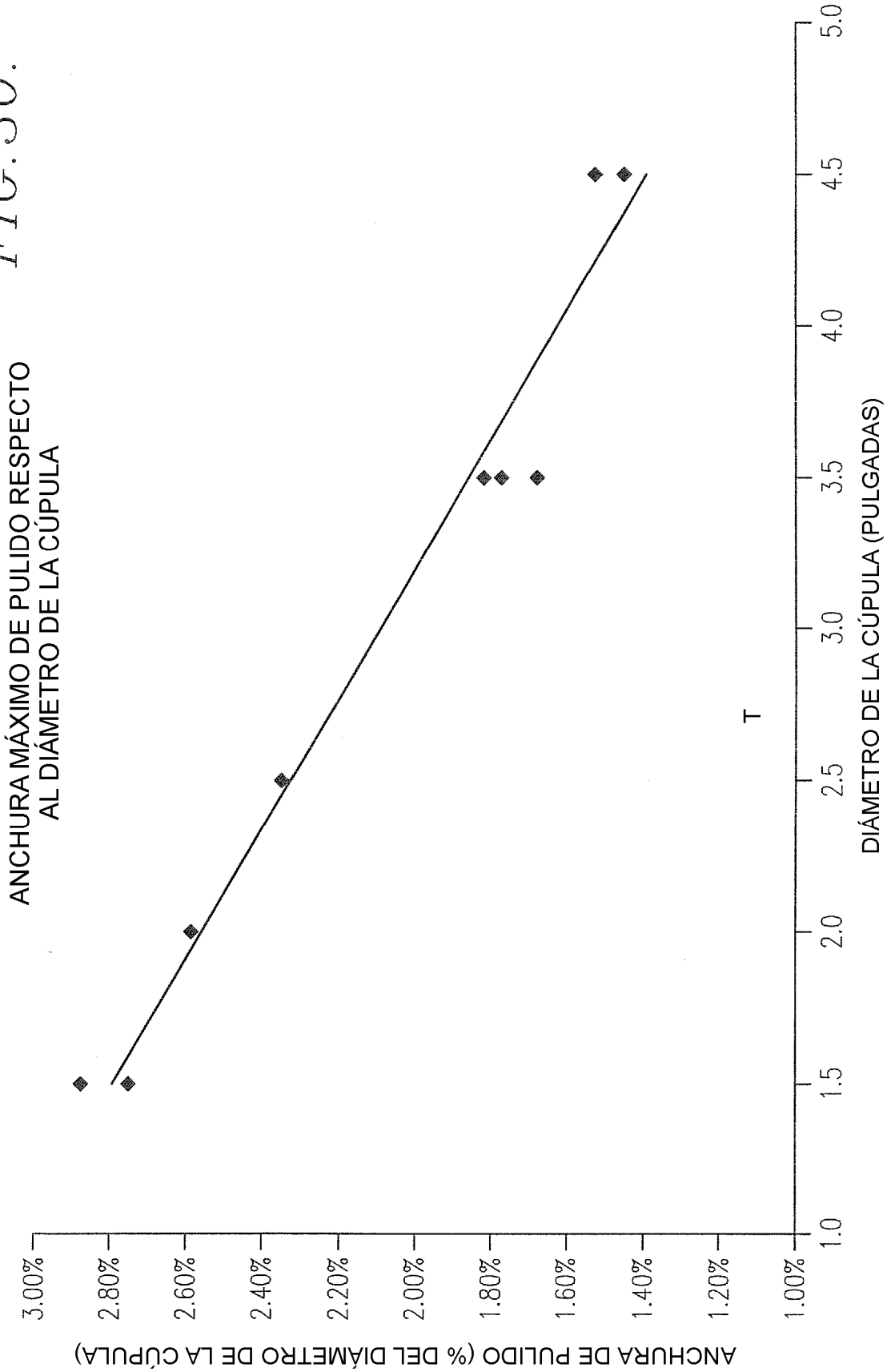


FIG. 24.

FIG. 30.


ANCHURA MÁXIMO DE PULIDO RESPECTO
AL DIÁMETRO DE LA CÚPULA
ANCHURA DE PULIDO (% DEL DIÁMETRO DE LA CÚPULA)
3.00%
2.80%
2.60%
2.40%
2.20%
2.00%
1.80%
1.60%
1.40%
1.20%
1.00%
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
DIÁMETRO DE LA CÚPULA (PULGADAS)
T