

3 01 784



MEMORIA DESCRIPTIVA.

PATENTE DE INVENCION.

P A I S : ESPAÑA.

DURACION : 20 AÑOS.

OBJETO : "UN PROCEDIMIENTO PARA EL CIERRE DE LOS
"EXTREMOS DE TUBOS DE MATERIALES COMPUESTOS
"TOS CERAMICO-METALICOS, PARTICULARMENTE
"FUNDAS DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES NUCLEA
"RES".

=====

A nombre de : COMMUNAUTE EUROPEENNE DE L'ENERGIE
ATOMIQUE (EURATOM).

Residente en : BRUSELAS (Bélgica), Belliard 51-53



301784

El presente invento se refiere a un procedimiento para el cierre estanco de tubos de materiales compuestos cerámico-metálicos que no pueden soportar la fusión sin destrucción de su estructura, por medio de tapones postizos.

5.- Es aplicable, especialmente, al cierre estanco de las fundas de elementos combustibles para reactores nucleares.

Se sabe que los materiales compuestos cerámico-metálicos, tales como los pares de los compuestos metal-óxido - como aluminio-alúmina, magnesio-magnesita, por ejemplo - se utilizan para el enfundado de los elementos combustibles en razón

10.- de sus buenas características mecánicas en caliente (carga de ruptura elevada, velocidad de flujo débil, etc.) muy superiores a las de los metales de base o de sus aleaciones y también en razón de las buenas características neutrónicas que

15.- poseen con relación a las aleaciones existentes de estos metales de base, lo que les hace muy interesantes sobre todo en los reactores de potencia con uranio natural.

Según los diferentes procedimientos conocidos, realizados para el cierre de los cartuchos de combustible con funda de materiales compuestos metal-cerámicos, se ha tratado de efectuar, cualquiera que sea el tipo de funda utilizada (sea del tipo de funda libre como del tipo de funda unida) una soldadura del tapón de cierre con la funda que debe, por una parte, asegurar una estanqueidad perfecta para aislar el fluido caloportador de los productos de fisión gaseosos generados por

20.-

25.-



las reacciones nucleares en el combustible y, de otra parte, presentar, a las temperaturas de utilización, una resistencia mecánica a las sollicitaciones generadas por los fenómenos siguientes: La presión interior debida al desprendimiento de los gases de fisión, la presión exterior debida al fluido caloportador y las fuerzas ejercidas sobre la barra de combustible por mediación del tapón (peso, pérdidas de carga de fluido caloportador, efecto de fijación de la barra, etc.).

Además de las características precedentes a las cuales debe satisfacer la soldadura, también es necesario prever para el tapón una geometría compatible con las soluciones posibles y fáciles para la fijación de la barra de combustible en un conjunto arracimado, por ejemplo: en una solución corrientemente empleada, el tapón debe presentar una espiga para la fijación o el enganche de la barra de combustible a los tirantes del racimo.

Los procedimientos de cierre conocidos hasta ahora presentan, realizados para los metales nucleares, el inconveniente de que no son aptos para una fabricación sistemática en escala industrial, porque, en general, la realización de las soldaduras entre el tapón y la funda requiere modalidades de ejecución muy precisas, que implican controles muy cuidadosos tanto de la ejecución misma como de la calidad de la soldadura obtenida, lo que afecta al coste de la operación.

La soldadura con arco en argón o con bombardeo electrónico consistente, véase la figura 1, en crear una zona fundida 1 que suelda entre sí el extremo de la funda 2 al borde levantado 3 del tapón 4, que puede estar provisto de la espiga 5 para la unión en racimo, ha demostrado ser de realización muy difícil, porque la fusión conduce a una transformación de la



estructura metálica del material compuesto que es perjudicial para la solidez y la estanqueidad del conjunto.

60.- La destrucción de la distribución muy fina y homogénea del óxido en el metal de la matriz, que constituye el origen de las buenas propiedades de los compuestos metalocerámicos, entraña en efecto una disminución de las propiedades mecánicas y riesgos de defectos de estanqueidad.

65.- La soldadura por fusión con arco en argón, en efecto, inaplicable al metalocerámico Aluminio-Alúmina porque, de una parte, la distribución de la alúmina es destruida y, de otra parte, esta última, durante su segregación, afecta fuertemente a la resistencia de estanqueidad.

70.- Además, los metalocerámicos tales como aluminio-alúmina presentan una rigidez debida a la armadura o esqueleto de alúmina, tal que rebasada la temperatura de fusión del aluminio, las piezas conservan por lo menos su geometría de conjunto, lo que perturba la unión entre las piezas que no han sido unidas íntimamente y, además, no haciéndose la unión más que por mediación del componente aluminio, éste exuda y entraña la segregación de la alúmina después del caldeo violento del metalocerámico (fusión al arco en argón).

75.- La soldadura por bombardeo electrónico gracias al empleo de un haz de electrones muy estrecho permite tener una zona de fusión muy localizada y hace que el proceso sea aplicable a los metalocerámicos.

80.- Sin embargo, siendo las características de la soldadura, estanqueidad por ejemplo, muy dependientes de la estructura inicial, bastante dispersa, del material compuesto, esta técnica exige un control en extremo severo de los parámetros tanto de fabricación como de soldadura, lo que la sitúa en el

85.-



límite de la realización industrial.

Entre las técnicas de soldadura sin fusión, el procedimiento por presión en caliente, ilustrado esquemáticamente en la figura 2, que consiste en obtener una unión por recalca-
90.- do en caliente con ayuda de la moleta 6 del borde 3 del tapón 4 sobre la funda 2, insertada en un anillo 7 que gira y calienta, presenta el inconveniente de que, aunque permite una resistencia y estanqueidad satisfactorias, obliga a una geometría del tapón que crea problemas de enganche y de guía
95.- mecánicos en el conjunto en racimo de las barras.

Además, el procedimiento conduce a un trabajo intenso de la funda (fatiga por deformación plástica del metalocerámico) y exige a causa de esto un control severo de la calidad del metalocerámico.

100.- El procedimiento de soldadura dura del tapón a la funda efectuado en un horno bajo vacío o en atmósfera inerte, estando rodeada la funda por un anillo resistente 8- véase la figura 3, con pequeño coeficiente de dilatación, por medio de un metal de aportación 9, tal como plata, depositado sobre una o ambas piezas en espesor muy fino (algunas micras)
105.- exige en el caso del aluminio sinterizado una precisión geométrica de las mecanizaciones de las fundas y de los tapones llevada al extremo y, si la resistencia mecánica es excelente, la estanqueidad demuestra ser a menudo imperfecta a causa del
110.- hecho de que, desde que se inicia la difusión a alta temperatura, la menor heterogeneidad sobre las superficies cilíndricas en contacto crea zonas de no difusión, porque el metal de aportación es atraído por zonas vecinas que lo hayan difundido bien.

115.- El uso del aluminio como metal de aportación implica la

57 JUN 1964
311784



mecanización de un anillo muy delgado para satisfacer las exigencias mecánicas en caliente (resistencia al flujo) y ha demostrado ser de uso muy delicado.

El procedimiento de soldadura por chispas (flash-welding) cuyo esquema de la disposición de las piezas para la aplicación al cierre de una funda se da en la figura 4, y del cual ilustra la figura 5 el esquema del cierre después de la soldadura, presenta el inconveniente de no ser fácilmente aplicable a tubos de espesor delgado, inferior a valores del orden del milímetro, dada la fuerte presión de prensado P con la cual la pieza auxiliar 10 es bloqueada sobre el conjunto funda-tapón. Además, corre el peligro de que se produzcan zonas de fuga que afectan a la estanqueidad, durante la secuencia de recalado en caliente, a causa de la alineación que sufren las partículas de óxido en la zona de flujo 11 que se forma por forjado en correspondencia con la soldadura en el límite de la parte 12 que se secciona de la pieza 10.

Además, los parámetros de soldadura son bastante difíciles de seleccionar industrialmente y la realización del control de estanqueidad por salida al helio demuestra ser difícil debido a la superficie que resulta muy trabajada después de la soldadura (proyección de aluminio y de alúmina).

El objeto del presente invento es un procedimiento para el cierre de tubos de materiales metalocerámicos, particularmente fundas de elementos combustibles nucleares, que permite, sin embargo, utilizar para estos materiales la técnica de soldadura con bordes levantados por fusión al arco eléctrico o con bombardeo electrónico, eliminando al propio tiempo los inconvenientes experimentados hasta ahora en la aplicación de



esta técnica a los metalocerámicos y cuyas características de fabricación lo hacen aplicable a la escala industrial.

La finalidad principal del invento es la puesta a punto de un procedimiento tal que consiste esencialmente en fijar
150.- el tapón al tubo por medios de resistencia mecánica y en crear una soldadura estanca entre el extremo del tubo y el borde levantado del tapón por difusión de un metal de aportación intermedio que está constituido por el mismo metal que forma el componente metálico del metalocerámico y sobre
155.- el cual es concentrada la energía calorífica del arco o del haz de electrones.

El procedimiento según el invento se caracteriza porque se obtura la extremidad a cerrar por un tapón que presenta un borde levantado, se procede a la fijación de dicho tapón
160.- al tubo según un procedimiento conocido, estando al menos el tapón, previamente provisto de medios de fijación adecuados, se introduce en una cavidad anular formada sobre el tubo y/o el tapón durante la obturación del extremo por el tapón, un anillo de un material formado por el metal que constituye la
165.- matriz del material compuesto, el cual rebasa los extremos del tubo y del borde levantado del tapón, y se somete el anillo a la acción de un arco eléctrico bajo una atmósfera protectora o a un bombardeo electrónico bajo vacío, de modo que la energía calorífica producida se concentre sobre el me-
170.- tal del anillo, que se funde en la cavidad y se difunde con las partes del tubo y del borde del tapón más próximas a la fuente de calor.

Otros detalles y particularidades del invento resaltarán de la descripción dada a continuación a título de ejemplo no
175.- limitativo y con referencia a los dibujos adjuntos, en los



cuales:

La figura 6 representa esquemáticamente en corte axial la extremidad de un tubo de enfundado listo para la soldadura con bombardeo electrónico, conforme al invento.

180.- La figura 7 muestra el detalle de la soldadura entre la funda y el tapón de la figura 6.

Las figuras 8 y 9 ilustran el detalle de la unión fundatapón y de la soldadura obtenida por arco eléctrico en atmósfera protectora.

185.- La figura 10 es una variante de los medios de fijación mecánica.

La figura 11 muestra una variante en la manera de obtener la cavidad anular para el anillo del metal de aportación y

La figura 12 es la disposición de la aplicación del procedimiento según el invento a la soldadura lateral.

190.-

El tubo a cerrar es un tubo cilíndrico 13 de aluminio sinterizado que contiene porcentajes elevados de alúmina, destinado a constituir la funda de un elemento combustible nuclear.

195.- Un tapón 14, igualmente de aluminio sinterizado, comprende el tapón propiamente dicho introducido en el tubo 13 y cuyo fondo 15 está provisto hacia el exterior de la espiga central 16 para la aplicación de la barra de combustible en los tirantes de unión del rañino, y lateralmente al borde levantado 17.

200.-

Según el invento, el fondo 15 del tapón está provisto sobre su altura de un fileteado 18 para la fijación mecánica a la funda 13, provista de un fileteado 19 correspondiente.

Esta última está provista de un ánima 20 en una parte de su longitud, contada a partir del extremo, recubierta por

205.-

301784



el borde levantado 17 del tapón, que tiene un rebajo 21 idéntico al del tubo, de modo que se forme, una vez efectuada la obturación del tubo por el tapón, una cavidad anular cuya anchura es inferior a los grosores iguales de la funda y del

210.- borde del tapón.

Esta cavidad que es creada durante el montaje del tapón en la funda sirve de alojamiento a un anillo 22 de aluminio A5 o A9, es decir, del mismo metal puro del metalocerámico aluminio-alúmina de que están hechos la funda y el tapón. Este

215.- anillo, tiene una altura tal que rebasa los extremos del borde 17 y de la funda 13 en una magnitud sensiblemente igual al grueso de estos últimos.

Según el invento, si se designa por a el espesor de la funda 13, el espesor del fondo 15 tiene un valor del orden

220.- de $10a$ y el de la parte del anillo que excede de los extremos del borde 17, un valor de a . Además, el espesor del anillo es igual a $0,6a$, al paso que su altura es de $5a$, es decir, la mitad del fondo del tapón.

Hay que observar que las dimensiones que acaban de ser

225.- definidas podrían modificarse sobre todo en lo que se refiere a la altura de la zona prevista para la unión mecánica que depende de las sollicitaciones mecánicas previstas sobre el tapón.

La unión del tubo y de su tapón se efectúa de la manera siguiente: introducido el tapón en el tubo, se ejerce lateral-

230.- mente sobre este último por un medio de mandrinado no representado, una presión de contracción en la zona del fileteado, de modo que los filetes de la funda se incrusten en los del tapón.

El tubo, montado sobre un mandril no representado, es

235.- llevado a una velocidad de rotación del orden de 2 r.p.m.,



- 7 Jul

301784

y el cañón 23 es puesto entonces en funcionamiento y bombardea al anillo 22 en el centro de su espesor. El bombardeo electrónico provoca la fusión del aluminio del anillo.

240.- La altura de la parte del anillo que rebasa la funda es suficiente para que se pueda regular la intensidad del bombardeo electrónico de manera que la zona de fusión sea limitada prácticamente al anillo y para que el calentamiento local provocado por la fusión genere un gradiente de temperatura según la dirección radial, de modo que haya lugar a un calentamiento cada vez más atenuado en dirección axial una vez que se aleja uno del extremo de los labios del tubo.

Por esto, la unión se efectúa finalmente por difusión intermetálica entre el tubo 13 y el tapón 17 según las secciones ABC y DEF como se ha ilustrado en la figura 7.

250.- Esta difusión alcanza una profundidad casi del doble de la altura en que el anillo rebasa el borde del tapón y la zona del SAP afectada por la fusión sobre los elementos (tapón y funda) es así extremadamente limitada.

Para una unión que tenga las dimensiones siguientes:

255.- Funda

Material	SAP con 7 ó 10% de óxido.
Diámetro exterior:	30 mm.
Diámetro interior:	28 mm.
Espesor:	1 mm.

260.- Anima: Profundidad	0,3 mm.
Longitud	4 mm.

Fileteado: Profundidad del filete	0,3 mm.
Paso	0,6 mm.
Altura fileteada	11 mm.

265.- Tapón



Material:	SAP con 7 ó 10% de óxido.
Diámetro exterior:	28 mm.
Altura del fondo:	10 mm.
Altura del borde:	5 mm.
270.- Espesor del borde:	1 mm.
Rebajo: longitud	4 mm.
profundidad	0,3 mm.
Fileteado: profundidad del filete	0,3 mm.
paso	0,6 mm.
275.- altura fileteada	11 mm.

Anillo

Material:	Aluminio A5 o A9
Espesor:	0,6 mm.
Altura:	5 mm.
280.- Tolerancias geométricas admitidas:	4-5 centésimas con un juego máximo de 0,1 mm.

El esfuerzo de ruptura al arranque para la unión mecánica a 450°C ha sido de unos 200 kg.

La estanqueidad de la unión ha sido probada con helio a una presión de 12 Kg/cm² sin que sea posible descubrir fugas por medio de un espectrógrafo de masa de helio unido a un recinto que rodea el extremo del tubo cerrado.

Como resalta de la figura 8, en el caso de soldadura efectuada con arco en atmósfera de argón, los extremos del tapón y del tubo tienen cada uno un bisel 24 y 25 de modo que el metal fundido del anillo (al cual es acercado el electrodo 26) se localiza de un modo simétrico entre los dos labios de SAP a soldar; esto en razón de la menos buena localización de la aportación calorífica autorizada por esta técnica.

En este caso las condiciones de soldaduras siguientes, aplicadas a la misma unión que en el caso del bombardeo eléctrico,



han permitido una soldadura perfecta tanto desde el punto de vista de la penetración (1,3 mm.) como del espesor exterior:

Angulo de biselado de la funda, tapón: 45°

Parte plana extremos funda, tapón: 0,2 mm.

300.- Electrodo

Material: Tungsteno

Diámetro: 2,5 a 3 mm.

Posición del electrodo:

Altura sobre el anillo 1 mm.

305.-

Descentramiento con
relación al centro del espesor
del anillo (lado interior) 0,1 mm.

Velocidad de rotación de la pieza 1,5 mm/seg.

310.- Intensidad de la corriente (a estable-
cimiento y corte progresivos) 65 amp.

Caudal de argón 12 l/min.

Diámetro del orificio de la boquilla 6 mm.

Como se ha ilustrado por la figura 10, la fijación del tapón a la funda puede obtenerse, a fin de mejorar la resis-

315.- tencia mecánica, por mandrinado electromagnético.

El fondo del tapón está provisto de una garganta 27 que tiene por ejemplo para la funda considerada más arriba una profundidad de 1 mm., un radio de curvatura de 3 mm y una anchura de 6 mm a partir de una altura de 2 mm. del fondo.

320.- La formación electromagnética de la funda en la garganta ha sido efectuada con un aparato Magnaform cuyo electrodo 28 ha sido indicado en el dibujo.

Según la variante representada en la figura 11, se puede suprimir la mecanización de la funda 1 y prever el único re-

325.- bajo 29 sobre el tapón.

En este caso, el anillo se ajusta apretado sobre el tapón y su grueso puede igualarse con el de la funda y del labio del

30179A



tapón.

Como resalta de la figura 12, para la aplicación del procedimiento según el invento a tubos de enfundado particulares cuyo tapón macizo 30 a través del cual tiene lugar el paso del termopar obliga, poseyendo un borde levantado formado por el collarín 31 que recubre radialmente la extremidad del tubo, a efectuar una soldadura lateral, se utiliza un anillo de aluminio 32 de sección recta en escuadra, con un lado 33 dispuesto en la ligera ánima 34 de la funda y el otro lado 35 interpuesto entre la extremidad del tubo y el collarín 30 que, con ayuda de biseles 36 y 37, forman la cavidad para la soldadura al arco bajo argón.

Como variante de los medios de fijación descritos precedentemente, una parte del tapón, de 11 mm. en el caso considerado, puede estar revestida por un metal de soldadura dura, plata por ejemplo, haciéndose la unión mecánica por difusión en caliente.

La extremidad del cartucho, a una temperatura de 450°, puede encajar deformaciones axiales del orden de 0,1 mm. sin rotura de la estanqueidad. La zona de aluminio fundido puede en efecto soportar deformaciones viscosas importantes sin que sea alterada la estanqueidad.

Es preciso observar que en el caso en que se fabrica un elemento combustible, el empleo del bombardeo electrónico supone el vacío en el interior de la funda, ya cerrada por un extremo.

Si se desea una atmósfera de gas inerte en el elemento, por ejemplo helio, argón etc. no se plantea ningún problema si la soldadura se efectúa al arco bajo atmósfera protectora.

En el caso del bombardeo electrónico el relleno puede rea-

JUL 1964



lizarse después de la soldadura de los dos tapones por mediación de un apéndice o rabillo realizado, por ejemplo, por un
360.- agujero de 0,5 o 1 mm. en la espiga del tapón, y tapado por un hilo de aluminio puro que es fundido con arco bajo argón según el mismo principio utilizado según el invento para la soldadura con el anillo.

Debe entender que el invento no está limitado de ningún
365.- modo a la forma de realización descrita y que pueden introducirse muchas modificaciones en ella, sin salirse del marco del invento.

Así es como el procedimiento de cierre estanco según el invento se aplica a tubos de sección cualquiera, es decir, cilindrica, cuadrada, etc.
370.-

N O T A.-

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta Patente de Invención en España, por veinte años, son los siguientes:

- 375.- 1.º.- Un procedimiento para el cierre de los extremos de tubos de materiales compuestos cerámico-metálicos, particularmente fundas de elementos combustibles nucleares, caracterizado porque se obtura el extremo a cerrar por un tapón que presenta un borde levantado, se procede a la fijación de dicho
380.- tapón al tubo, según un procedimiento conocido, estando el tapón provisto previamente al menos de medios de fijación adecuados, se introduce en una cavidad anular formada sobre el tubo y/o el tapón durante la obturación del extremo del tubo por el tapón, un anillo de un material formado por el metal que
385.- constituye la matriz del material compuesto, el cual rebasa los

3 11 784 JUL 1964



extremos del tubo y del borde levantado del tapón, y se some-
te el anillo a la acción de un arco eléctrico bajo una atmós-
fera protectora o a un bombardeo electrónico bajo vacío, de
modo que la energía calorífica producida se concentre sobre
390.- el metal del anillo que funde en la cavidad y se difunde con
las partes del tubo y del borde del tapón más próximas a la
fuente de calor.

2º.-, Un procedimiento de cierre según el punto 1º, ca-
racterizado porque la cavidad está formada por un ánima sobre
395.- el tubo y un rebajo sobre el borde levantado del tapón reali-
zados sobre la parte extrema de estas piezas, cuya profundi-
dad y anchura se eligen de modo que permitan la resistencia
mecánica del anillo que tiene un espesor igual como máximo
al espesor del tubo.

400.- 3º.- Un procedimiento de cierre según el punto 1º, ca-
racterizado porque la cavidad está formada por un ensancha-
miento anular del borde levantado del tapón de longitud y pro-
fundidad elegidas para permitir la resistencia mecánica del
anillo que tiene un espesor igual como máximo al espesor del
405.- tubo.

4º.- Un procedimiento de cierre según el punto 1º, y el
2º, o el 3º, caracterizado porque la cavidad termina hacia
los extremos del tubo y del tapón por un ensanchamiento obte-
nido realizando sobre cada uno de los extremos un bisel, pre-
410.- feriblemente a 45º.

5º.- Un procedimiento según el punto 1º, aplicado al cie-
rre de un tubo obturado con un tapón que tiene un collarín ra-
dial que recubre el extremo del tubo y en que la fusión se ob-
tiene por el arco eléctrico en atmósfera protectora, caracte-
415.- rizado porque el anillo tiene una sección recta en escuadra

301784

JUL



con un lado dispuesto en un ánima practicada sobre el tubo y el otro lado interpuesto entre el extremo del tubo y el collarín del tapón, estando formada la cavidad por un alojamiento ensanchado constituido por un bisel realizado sobre el collarín y sobre el extremo del tubo.

6º.- Un procedimiento según el punto 1º y los puntos 2º y 4º o los puntos 3º y 4º, o el punto 5º, caracterizado porque los medios de fijación están constituidos por un fileteado del tubo y del tapón, obteniéndose la fijación por contracción del tubo sobre el tapón.

7º.- Un procedimiento según el punto 1º, y los puntos 2º y 4º o los puntos 3º y 4º, o el punto 5º, caracterizado porque los medios de fijación están constituidos por una garganta anular sobre el tapón, teniendo lugar la fijación por una operación de mandrinado del tubo sobre la garganta del tapón, preferentemente con ayuda del procedimiento electromagnético.

8º.- Un procedimiento según el punto 1º y los puntos 2º y 4º o los puntos 3º y 4º o el punto 5º, caracterizado porque los medios de fijación están constituidos por revestimiento de una parte del tapón con un metal intermedio de soldadura, obteniéndose la fijación por difusión en caliente.

9º.- "UN PROCEDIMIENTO PARA EL CIERRE DE LOS EXTREMOS DE TUBOS DE MATERIALES COMPUESTOS CERAMICO-METALICOS, PARTICULARMENTE FUNDAS DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES NUCLEARES", todo tal y conforme se describe en la presente Memoria, la cual consta de 442 líneas y a título de ejemplo se representa en los adjuntos dibujos.

Madrid, 7 JUL. 1964

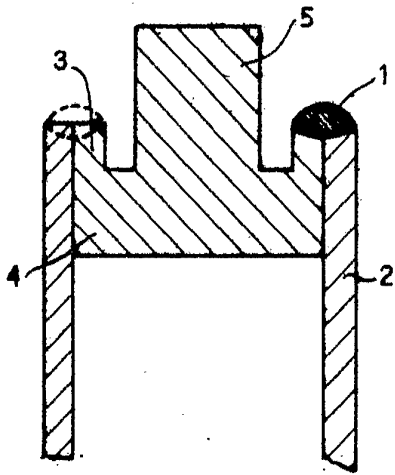


FIG. 1

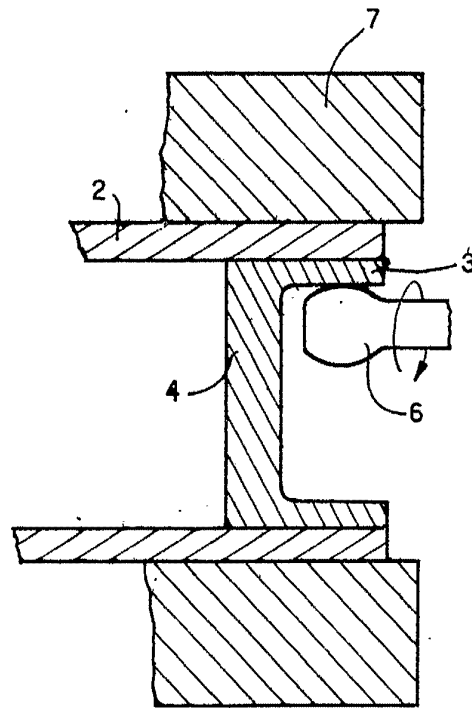


FIG. 2

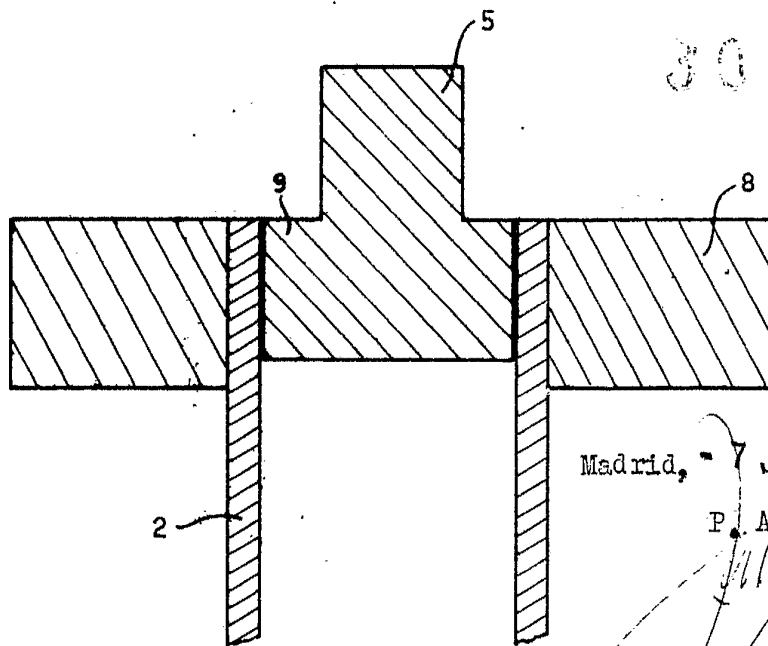


FIG. 3

Madrid, - 7 JUL. 1964

P. A.

ESCALA VARIABLE.

HOJA 2/4.

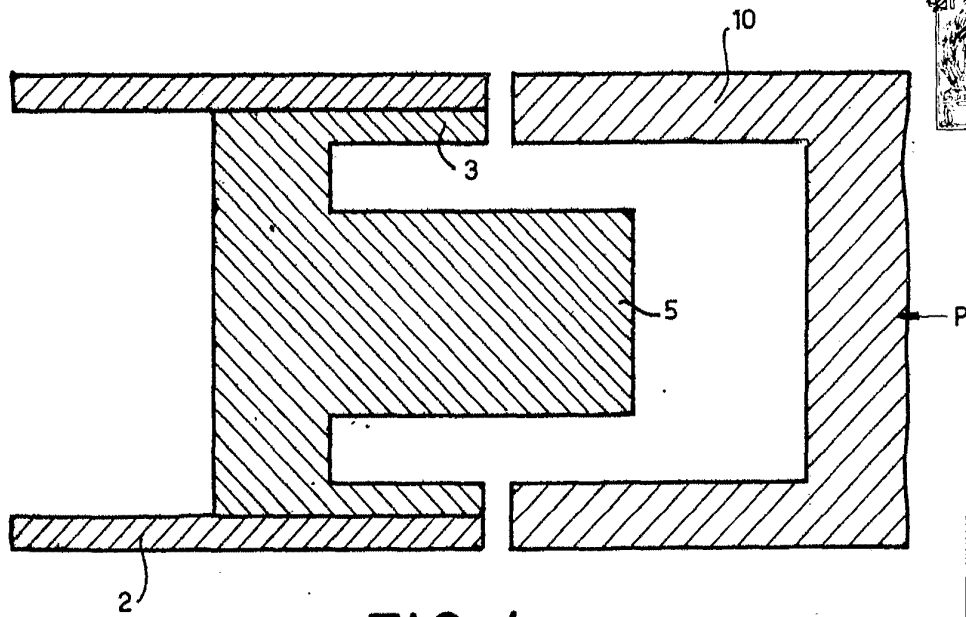


FIG. 4

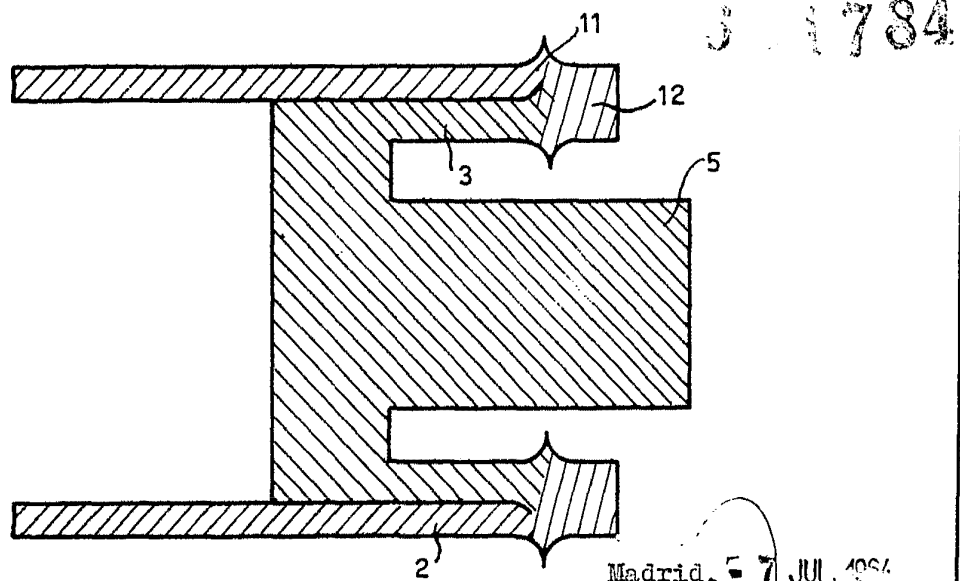


FIG. 5

Madrid, 5 7 JUL. 1964

P. A.

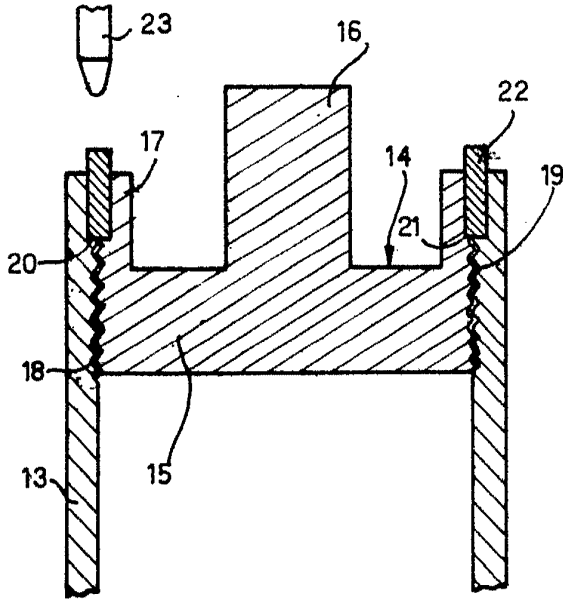


FIG. 6

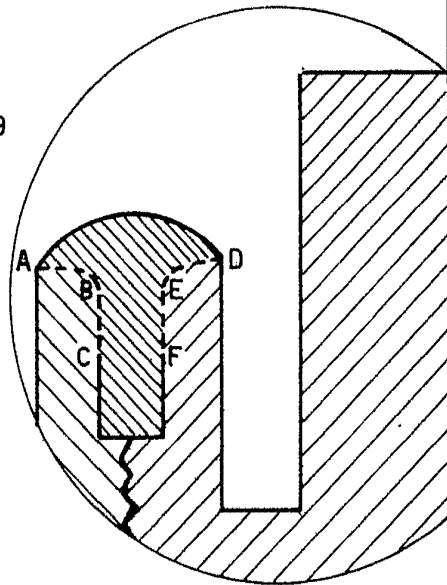


FIG. 7

301784

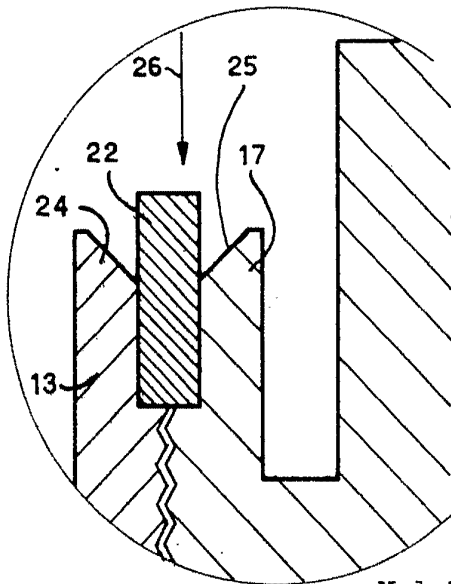


FIG. 8

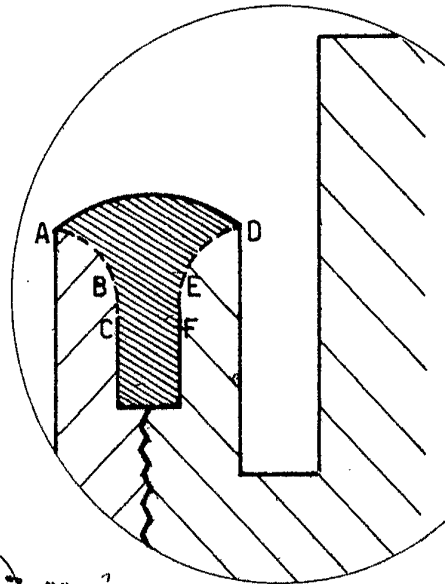


FIG. 9

Madrid, - 7 JUL. 1964.
P. A.

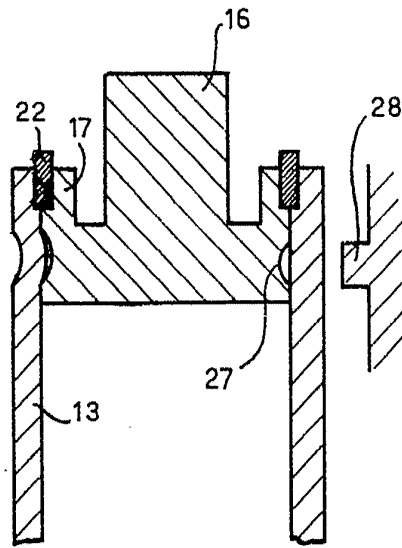


FIG. 10

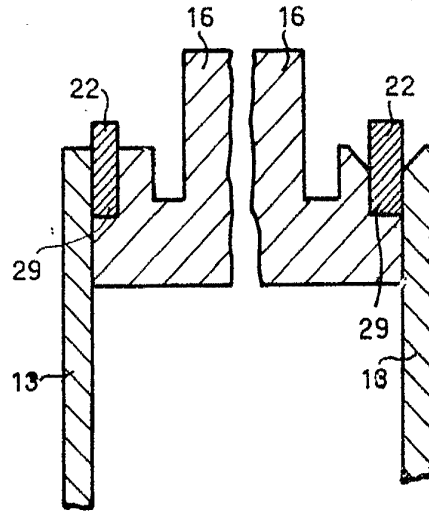


FIG. 11

301784

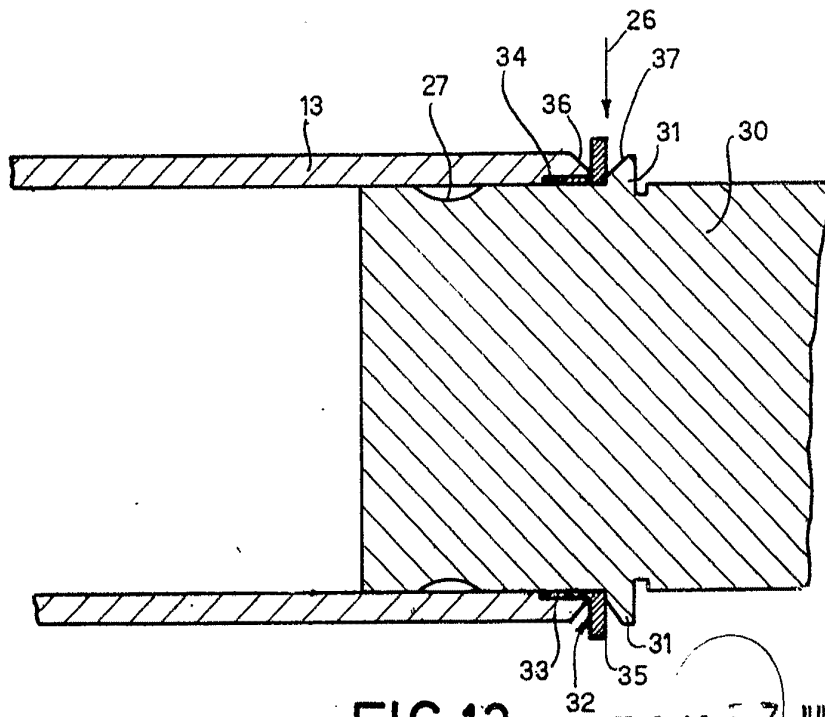


FIG. 12

Madrid, 7 JUL 1964

P. A.

