(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 374 261**

(51) Int. Cl.:
C22C 38/22 (2006.01)
C22C 38/24 (2006.01)
C22C 38/44 (2006.01)
C22C 38/46 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Número de solicitud europea: **99946245 .0**
(96) Fecha de presentación: **28.09.1999**
(97) Número de publicación de la solicitud: **1044287**
(97) Fecha de publicación de la solicitud: **18.10.2000**

(54) Título: **PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DE PIEZAS NITRURADAS.**

(30) Prioridad:
30.09.1998 FR 9812209

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
15.02.2012

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
15.02.2012

(73) Titular/es:
AUBERT & DUVAL
TOUR MAINE MONTPARNASSE, 33 AVENUE DU MAINE
75755 PARIS CEDEX 15, FR

(72) Inventor/es:
DUBOIS, Philippe

(74) Agente: **Curell Aguilá, Mireia**

ES 2 374 261 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de fabricación de piezas nitruradas.

La presente invención se refiere a un procedimiento de fabricación de piezas realizadas en un acero.

La nitruración es un tratamiento termoquímico de endurecimiento superficial mediante introducción de nitrógeno en el acero. Este procedimiento se utiliza en todos los campos de la mecánica y sirve en particular para fabricar engranajes, canales, árboles de transmisión, árboles de leva, piezas de distribución de motor térmico, cuerpos de bomba, cuerpos de inyector, cigüeñales, tornillos de extrusión, distribuidores hidráulicos, raíles de guiado, cajas de rodamiento, calibres de control y piezas de herramientas de conformación.

La nitruración se realiza generalmente en un intervalo de temperaturas de aproximadamente 450 a 600ºC, temperaturas para las cuales la difusión de nitrógeno es relativamente lenta. Los aceros clásicos de nitruración, tales como 40CrAlMo6,12, 25NiAlCr14,12, 30CrMo12 o 32CrMoV13 (cuyas composiciones químicas se recuerdan a continuación en la tabla 1), sólo permiten obtener grosores de capas nitruradas modestos, del orden de aproximadamente 0,7 mm como máximo, teniendo las etapas de nitruración unas duraciones excesivamente largas que pueden alcanzar hasta aproximadamente 200 h.

Tabla 1: Composiciones químicas típicas en porcentaje en peso

	40CrAlMo6,12	25NiAlCr14,12	30CrMo12	32CrMoV13	35CrMo4	42CrMo4
C (%)	0,40	0,25	0,30	0,32	0,35	0,42
Si (%)	0,30	0,30	0,30	0,20	0,30	0,30
Mn (%)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,70	0,60
Ni (%)	0,20	3,50	0,20	020	0,30	0,30
Cr (%)	1,70	1,10	3,00	3,00	1,00	1,00
Mo (%)	0,30	0,25	0,40	1,00	0,20	0,20
V (%)	-	-	-	0,25	-	-
Al (%)	1,10	1,20	-	-	-	-

Estas insuficiencias limitan la utilización de los aceros nitrurados por motivos técnicos, por ejemplo cuando las solicitaciones aplicadas inducen tensiones elevadas más allá de las profundidades de nitruración que se pueden realizar con los aceros actuales, o incluso cuando los mecanizados posteriores tras la nitruración son importantes. Pero la limitación también es de tipo económico debido a la duración demasiado importante de los ciclos de nitruración.

Estas limitaciones se podrían evitar mediante la utilización de aceros que contengan menores contenidos en cromo, lo cual conlleva un aumento del coeficiente de difusión del nitrógeno en la aleación. Es el caso por ejemplo de los aceros 35CrMo4 o 42CrMo4 (cuyas composiciones químicas se recuerdan en la tabla 1 anterior). Pero las durezas superficiales máximas que se pueden obtener con estos aceros son del orden de 700 HV lo cual es demasiado débil en la mayoría de los casos. Además, las características de tracción, de resiliencia y de tenacidad de la subcapa son notablemente insuficientes para muchas aplicaciones.

La presente invención presenta por tanto esencialmente por objetivo poner a disposición un procedimiento de fabricación de piezas realizadas en un acero de nitruración que permita conservar las propiedades de tracción, de resiliencia, de tenacidad, de templabilidad, de fatiga, y de dureza superficial de los capas nitruradas de los aceros de nitruración de tipo 32CrMoV13, al tiempo que se aumenta la cinética de difusión del nitrógeno, para permitir o bien profundidades de nitruración más importantes, o bien tiempos de nitruración reducidos. El acero de nitruración según el objetivo de la invención comprende, expresados en % en peso,

del 0,2 al 0,4% de C,
del 0,8 al 2% de Cr,
del 0,6 al 2% de Mo,
del 0,05 al 0,4% de Al,

y, dado el caso,

como máximo el 0,5% de Si,
como máximo el 1,5% de Mn,
como máximo el 1,5% de Ni,
como máximo el 0,5% de V,

estando constituido el complemento por hierro y por impurezas residuales,

cumpliendo los contenidos de esta composición en Cr, Mo, V y Al, expresados en % en peso, la siguiente relación:

$$4 \leq 3Cr + Mo + V + 2Al \leq 8.$$

El azufre está limitado al 0,015% y el fósforo al 0,020% en peso.

Los elementos tales como el calcio, el cerio, el titanio, el circonio, el niobio que sirven o bien para desoxidar el acero, o bien para afinar el tamaño de grano, están preferentemente limitados al 0,1% en peso cada uno.

El intervalo de carbono es del 0,2 al 0,4% en peso con el fin de obtener, tras el templado y revenido a una temperatura compatible con la nitruración posterior, una resistencia máxima a la tracción en el intervalo comprendido entre 900 y 1.500 MPa. También son interesantes intervalos de carbono reducidos:

- el intervalo del 0,2 al 0,35% en peso permite maximizar las características de ductilidad, resiliencia y tenacidad,
- el intervalo del 0,3 al 0,4% en peso permite maximizar el límite elástico,
- el intervalo del 0,25 al 0,37% en peso permite obtener un buen compromiso para el conjunto de las características anteriores.

El carbono contribuye por otro lado a la templabilidad de la aleación así como a su resistencia al revenido y a su resistencia al ablandamiento durante el ciclo de nitruración.

El silicio se debe limitar debido a que conduce, durante la nitruración, a la precipitación de carbonitruros que participan poco en el endurecimiento, pero que reducen la velocidad de difusión del nitrógeno. Por estos motivos, está limitado al 0,5% en peso como máximo, y preferentemente al 0,35% en peso.

El cromo es uno de los elementos preponderantes para la obtención de las características de la capa nitrurada, pero conduce a una precipitación importante de nitrógeno en forma de carbonitruros, lo cual reduce la velocidad de difusión del nitrógeno en la capa nitrurada. El cromo también influye de manera beneficiosa sobre la templabilidad de la subcapa. Estas consideraciones conducen a limitar el contenido en cromo al 0,8-2% en peso, preferentemente al 1,1-1,8% en peso.

Con respecto a un acero de tipo 32CrMoV13 la pérdida de templabilidad inducida por la reducción del contenido en cromo se compensa parcialmente por un aumento de los contenidos en manganeso y níquel. No obstante, estos dos elementos no se deben añadir en un contenido demasiado importante, ya que esto conduce respectivamente a segregaciones de composición química y a una fragilización de la subcapa durante la nitruración. Por estos motivos los contenidos se limitan al 1,5% en peso como máximo para el manganeso y el níquel. Se prefieren intervalos más reducidos: el 0,2-1,1% en peso para el manganeso y el 0,5-1,3% en peso para el níquel.

De la misma manera, con respecto a un acero de tipo 32CrMoV13, la reducción del contenido en cromo induce una disminución del endurecimiento durante la nitruración, lo cual se compensa mediante un aumento de los contenidos en molibdeno y vanadio, así como mediante la adición de aluminio. Estos tres elementos contribuyen a aumentar la templabilidad del acero.

Por otro lado, los elementos molibdeno y vanadio aumentan la resistencia al revenido del acero y limitan su ablandamiento durante la nitruración. Su contenido se debe limitar ya que una cantidad demasiado importante conduciría a una fragilización del acero en la subcapa. Los contenidos están por tanto limitados al 0,6-2% en peso para el molibdeno, como máximo al 0,5% en peso para el vanadio, y al 0,05%-0,4% en peso para el aluminio. Se prefieren intervalos más reducidos: el 0,8-1,5% en peso para el molibdeno, el 0,1-0,4% en peso para el vanadio y el 0,1-0,3% en peso para el aluminio.

El objeto de la invención es un procedimiento de fabricación de piezas tratadas y nitruradas, que comprende las siguientes operaciones:

a - constitución de una carga destinada a obtener una composición según la presente invención, tal como se ha descrito anteriormente,

b - elaboración de dicha carga en un horno de arco,

c - recalentamiento y transformación en caliente del lingote,

d - tratamiento térmico de homogeneización de la estructura y de afinamiento del grano,

e - tratamiento térmico de empleo, y

f - nitruración.

El acero para el procedimiento según la invención se obtiene mediante técnicas de elaboración según la reivindicación 1.

Para aumentar aún más estos rendimientos, es posible realizar la primera elaboración a presión reducida (VIM) y continuar con una refusión mediante electrodo consumible.

Los lingotes obtenidos mediante cualquiera de las vías anteriores experimentan un recalentamiento a alta temperatura para homogeneizar la estructura y a continuación unas transformaciones termomecánicas con el objetivo de conferir al producto realizado con esta aleación una tasa de reducción suficiente que se preferirá superior o igual a 3. Se pueden admitir tasas de reducción inferiores para piezas de grandes dimensiones. Estas transformaciones termomecánicas se basan en modos de funcionamiento clásicos, tales como el laminado, el forjado, el matrizado o el hilado. En el procedimiento según la invención, se realiza una normalización a partir de una temperatura superior al punto crítico (AC_3), seguida por un enfriamiento al aire y por un revenido de ablandamiento a una temperatura inferior al punto crítico (AC_1).

A título indicativo, la temperatura del punto crítico (AC_1) se sitúa generalmente en el intervalo comprendido entre 700ºC y 790ºC, mientras que la temperatura del punto crítico (AC_3) se sitúa generalmente en el intervalo comprendido entre 800ºC y 890ºC.

A continuación se templan los productos y se someten a revenido en forma de barra laminada, de preforma forjada o estampada, de piezas premecanizadas. El templado se realiza a partir de una temperatura de austenización superior al punto crítico (AC_3), en el intervalo comprendido entre 900 y 1.000ºC, por ejemplo. El fluido de templado se ajusta, de manera clásica, en función de la sección de los productos.

A continuación se realiza el revenido a una temperatura ajustada en función de las características mecánicas buscadas para el núcleo, en el intervalo de aproximadamente 550ºC a aproximadamente 750ºC. Su elección debe tener en cuenta la temperatura a la que se realizará la nitruración. Se prefiere una temperatura de revenido superior en al menos 30ºC con respecto a la temperatura de nitruración. En determinados casos particulares, la nitruración puede servir de revenido.

A continuación se realiza la nitruración, etapa f del procedimiento según la invención, en la pieza acabada o casi acabada de mecanizado. Los parámetros de tiempo y temperatura se deben fijar en función del compromiso buscado en cuanto a la dureza superficial, profundidad y microestructura para la capa. Es posible poner en práctica una nitruración gaseosa con amoniaco, o una nitruración iónica con nitrógeno o incluso una nitruración en baño de sales que pueden liberar nitrógeno en la superficie del acero. El procedimiento utilizado influye poco sobre el gradiente de dureza de la capa nitrurada, que depende esencialmente de la composición química del acero.

Los siguientes ejemplos muestran que el procedimiento según la invención conduce a piezas que presentan simultáneamente excelentes características de tracción, de resiliencia, de transición de resiliencia, de tenacidad, de fatiga, de resistencia al revenido del núcleo, asociadas con excelentes durezas superficiales y profundidad de la capa nitrurada.

El acero clásico elegido como elemento de comparación es el acero 32CrMoV13 que se preparó en el pasado para optimizar el compromiso de características de núcleo/dureza superficial/cinética de nitruración y que sigue siendo actualmente uno de los mejores aceros de nitruración disponibles.

En cuanto a la etapa de nitruración, se realizó sistemáticamente con el procedimiento de nitruración gaseosa utilizando amoniaco.

Ejemplos

Los símbolos utilizados a continuación tienen los siguientes significados:

R_m = resistencia máxima
$R_{p0,2}$ = límite elástico convencional al 0,2% de deformación
A_{5d} = alargamiento en % con base 5 d (d = diámetro de la probeta)
Z = estricción
HV_{50} = dureza Vickers con una carga de 50 kg
HRC = dureza Rockwell C
KV = energía de ruptura en flexión mediante choque con probeta con muesca en V
KCU = energía de ruptura en flexión mediante choque con probeta con muesca en U
KQ = tenacidad.

Los ejemplos se completan con las figuras de las láminas de dibujos adjuntas, en las que:

- la figura 1 representa el perfil de dureza de dos muestras cuya preparación se describe en el ejemplo 1,
- la figura 2 representa el perfil de dureza de dos muestras cuya preparación se describe en el ejemplo 2,
- la figura 3 representa el perfil de dureza de dos muestras cuya preparación se describe en el ejemplo 3,
- la figura 4 representa el perfil de dureza de dos muestras cuya preparación se describe en el ejemplo 4,
- la figura 5 representa el perfil de dureza de dos muestras cuya preparación se describe en el ejemplo 5,
- la figura 6 representa el perfil de dureza de dos muestras cuya preparación se describe en el ejemplo 6,
- la figura 7 representa el perfil de dureza de dos muestras cuya preparación se describe en el ejemplo 7,
- la figura 8 representa el perfil de dureza de dos muestras cuya preparación se describe en el ejemplo 8,
- la figura 9 representa el perfil de dureza de dos muestras cuya preparación se describe en el ejemplo 9.

Ejemplo nº 1

Se fabricó un lingote de 35 kg con la composición química indicada a continuación en porcentaje en peso, según las indicaciones de la presente invención:

el 0,30% de C
el 0,06% de Si
el 0,28% de Mn
el 1,20% de Cr
el 0,05% de Ni
el 1,00% de Mo
el 0,25% de V
el 0,09% de Al

estando el resto constituido por hiero y por impurezas residuales.

Se fabricó este lingote mediante fusión con arco, a continuación se homogeneizó a alta temperatura (1.100ºC) para obtener una estructura uniforme, y después se forjó. Los productos forjados se enfriaron lentamente en el horno. Se normalizaron con el fin de poner los carburos en disolución, homogeneizar la estructura austenítica y afinar el grano.

Se austenizaron barras procedentes de este lingote a 940ºC, se templaron en aceite y después se sometieron a revenido a una temperatura de 650ºC.

Las características mecánicas obtenidas se indican en la siguiente tabla:

R_m (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A_{5d} (%)	Z (%)	HV_{50}	KCU (J/cm^2)	KV (J)
1233	1152	16,5	69	409	95	81

Se nitruraron muestras a 520ºC durante 100 h. El perfil de dureza obtenido se presenta en la figura 1, así como el obtenido para un mismo ciclo con un acero 32CrMoV13.

Este perfil muestra que el acero presenta, para un mismo ciclo de nitruración, una dureza superficial equivalente a la del acero 32CrMoV13 y una profundidad nitrurada claramente superior.

Ejemplo nº 2

Se fabricó un lingote de 35 kg con la composición química indicada a continuación en porcentaje en peso, según las indicaciones de la presente invención:

el 0,35% de C
el 0,05% de Si
el 0,28% de Mn
el 1,21% de Cr
el 0,50% de Ni
el 1,01% de Mo
el 0,25% de V
el 0,18% de Al

estando el resto constituido esencialmente por hierro y por impurezas residuales.

Se fabricó este lingote mediante fusión con arco, a continuación se homogeneizó a alta temperatura (1.100ºC) para obtener una estructura uniforme, y después se forjó. Los productos forjados se enfriaron lentamente en el horno. Se normalizaron con el fin de poner los carburos en disolución, de homogeneizar la estructura austenítica y de afinar el grano.

Se austenizaron barras procedentes de este lingote a 940ºC, se templaron en aceite y después se sometieron a revenido a una temperatura de 650ºC.

Las características mecánicas obtenidas se indican en la siguiente tabla:

R_m (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A_{5d} (%)	Z (%)	HV_{50}	KCU (J/cm^2)	KV (J)
1305	1238	15,0	63	404	86	69

Se nitruraron muestras a 520ºC durante 100 h. El perfil de dureza obtenido se presenta en la figura 2, así como el obtenido para un mismo ciclo con un acero 32CrMoV13.

Este perfil muestra que el acero presenta, para un mismo ciclo de nitruración, una dureza superficial equivalente a la del acero 32CrMoV13 y una profundidad nitrurada claramente superior.

Ejemplo nº 3

Se fabricó un lingote de 35 kg con la composición química indicada a continuación en porcentaje en peso, según las indicaciones de la presente invención:

el 0,35% de C
el 0,06% de Si
el 0,69% de Mn
el 1,20% de Cr
el 0,50% de Ni
el 1,21% de Mo
el 0,35% de V
el 0,30% de Al

estando el resto constituido esencialmente por hierro y por impurezas residuales.

Se fabricó este lingote mediante fusión con arco, a continuación se homogeneizó a alta temperatura (1.100ºC) para obtener una estructura uniforme, y después se forjó. Los productos forjados se enfriaron lentamente en el horno. Se normalizaron con el fin de poner los carburos en disolución, de homogeneizar la estructura austenítica y de afinar el grano.

Se austenizaron barras procedentes de este lingote a 940ºC, se templaron en aceite y después se sometieron a revenido a una temperatura de 650ºC.

Las características mecánicas obtenidas se indican en la siguiente tabla:

R_m (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A_{5d} (%)	Z (%)	HV_{50}	KCU (J/cm^2)	KV (J)
1296	1234	15,5	62	416	79	69

Se nitruraron muestras a 520ºC durante 100 h. El perfil de dureza obtenido se presenta en la figura 3, así como el obtenido para un mismo ciclo con un acero 32CrMoV13.

Este perfil muestra que el acero presenta, para un mismo ciclo de nitruración, una dureza superficial equivalente a la del acero 32CrMoV13 y una profundidad nitrurada claramente superior.

Ejemplo nº 4

Se fabricó un lingote de 35 kg con la composición química indicada a continuación en porcentaje en peso, según las indicaciones de la presente invención:

el 0,40% de C
el 0,06% de Si
el 0,70% de Mn
el 1,19% de Cr
el 1,00% de Ni
el 1,31% de Mo
el 0,35% de V
el 0,32% de Al

estando el resto constituido esencialmente por hierro y por impurezas residuales.

Se fabricó este lingote mediante fusión con arco, a continuación se homogeneizó a alta temperatura (1.100ºC) para obtener una estructura uniforme, y después se forjó. Los productos forjados se enfriaron lentamente en el horno. Se normalizaron con el fin de poner los carburos en disolución, de homogeneizar la estructura austenítica y de afinar el grano.

Se austenizaron barras procedentes de este lingote a 940ºC, se templaron en aceite y después se sometieron a revenido a una temperatura de 650ºC.

Las características mecánicas obtenidas se indican en la siguiente tabla:

R_m (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A_{5d} (%)	Z (%)	HV_{50}	KCU (J/cm^2)	KV (J)
1305	1245	13,5	46	406	66	60

Se nitruraron muestras a 520ºC durante 100 h. El perfil de dureza obtenido se presenta en la figura 4, así como el obtenido para un mismo ciclo con un acero 32CrMoV13.

Este perfil muestra que el acero presenta, para un mismo ciclo de nitruración, una dureza superficial equivalente a la del acero 32CrMoV13 y una profundidad nitrurada claramente superior.

Ejemplo nº 5

Se fabricó un lingote de 35 kg con la composición química indicada a continuación en porcentaje en peso, según las indicaciones de la presente invención:

el 0,38% de C
el 0,06% de Si
el 0,31% de Mn
el 1,06% de Cr
el 0,99% de Ni
el 1,50% de Mo
el 0,25% de V
el 0,16% de Al

estando el resto constituido esencialmente por hierro y por impurezas residuales.

Se fabricó este lingote mediante fusión con arco, a continuación se homogeneizó a alta temperatura (1.100ºC) para obtener una estructura uniforme, y después se forjó. Los productos forjados se enfriaron lentamente en el horno. Se normalizaron con el fin de poner los carburos en disolución, de homogeneizar la estructura austenítica y de afinar el grano.

Se austenizaron barras procedentes de este lingote a 940ºC, se templaron en aceite y después se sometieron a revenido a una temperatura de 650ºC.

Las características mecánicas obtenidas se indican en la siguiente tabla:

R_m (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A_{5d} (%)	Z (%)	HV_{50}	KCU (J/cm^2)	KV (J)
1311	1251	15,5	61	416	97	77

Se nitruraron muestras a 520ºC durante 100 h. El perfil de dureza obtenido se presenta en la figura 5, así como el obtenido para un mismo ciclo con un acero 32CrMoV13.

Este perfil muestra que el acero presenta, para un mismo ciclo de nitruración, una dureza superficial equivalente a la del acero 32CrMoV13 y una profundidad nitrurada claramente superior.

Ejemplo nº 6

Se fabricó un lingote de 35 kg con la composición química indicada a continuación en porcentaje en peso, según las indicaciones de la presente invención:

el 0,35% de C
el 0,06% de Si
el 0,64% de Mn
el 1,38% de Cr
el 0,51% de Ni
el 1,20% de Mo

el 0,34% de V
el 0,09% de Al

estando el resto constituido esencialmente por hierro y por impurezas residuales.

Se fabricó este lingote mediante fusión con arco, a continuación se homogeneizó a alta temperatura (1.100ºC) para obtener una estructura uniforme, y después se forjó. Los productos forjados se enfriaron lentamente en el horno. Se normalizaron con el fin de poner los carburos en disolución, de homogeneizar la estructura austenítica y de afinar el grano.

Se austenizaron barras procedentes de este lingote a 940ºC, se templaron en aceite y después se sometieron a revenido a una temperatura de 650ºC.

Las características mecánicas obtenidas se indican en la siguiente tabla:

R_m (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A_{5d} (%)	Z (%)	HV_{50}	KCU (J/cm^2)	KV (J)
1253	1184	15,5	66	408	100	87

Se nitruraron muestras a 520ºC durante 100 h. El perfil de dureza obtenido se presenta en la figura 6, así como el obtenido para un mismo ciclo con un acero 32CrMoV13.

Este perfil muestra que el acero presenta, para un mismo ciclo de nitruración, una dureza superficial equivalente a la del acero 32CrMoV13 y una profundidad nitrurada claramente superior.

Ejemplo nº 7

Se fabricó un lingote de 35 kg con la composición química indicada a continuación en porcentaje en peso, según las indicaciones de la presente invención:

el 0,32% de C
el 0,05% de Si
el 0,90% de Mn
el 1,33% de Cr
el 0,77% de Ni
el 1,12% de Mo
el 0,27% de V
el 0,19% de Al

estando el resto constituido esencialmente por hierro y por impurezas residuales.

Se fabricó este lingote mediante fusión con arco, a continuación se homogeneizó a alta temperatura (1.100ºC) para obtener una estructura uniforme, y después se forjó. Los productos forjados se enfriaron lentamente en el horno. Se normalizaron con el fin de poner los carburos en disolución, de homogeneizar la estructura austenítica y de afinar el grano.

Se austenizaron barras procedentes de este lingote a 940ºC, se templaron en aceite y después se sometieron a revenido a una temperatura de 650ºC.

Las características mecánicas obtenidas se indican en la siguiente tabla:

R_m (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A_{5d} (%)	Z (%)	HV_{50}	KCU (J/cm^2)	KV (J)
1234	1161	15,0	65	402	103	103

Se nitruraron muestras a 520ºC durante 100 h. El perfil de dureza obtenido se presenta en la figura 7, así como el obtenido para un mismo ciclo con un acero 32CrMoV13.

Este perfil muestra que el acero presenta, para un mismo ciclo de nitruración, una dureza superficial equivalente a la del acero 32CrMoV13 y una profundidad nitrurada claramente superior.

Ejemplo nº 8

Se fabricó un lingote de 35 kg con la composición química indicada a continuación en porcentaje en peso, según las indicaciones de la presente invención:

el 0,31% de C

el 0,27% de Si
el 0,91% de Mn
el 1,34% de Cr
el 1,04% de Ni
el 1,17% de Mo
el 0,23% de V
el 0,30% de Al

estando el resto constituido esencialmente por hierro y por impurezas residuales.

Se fabricó este lingote mediante fusión con arco, a continuación se homogeneizó a alta temperatura (1.100ºC) para obtener una estructura uniforme, y después se forjó. Los productos forjados se enfriaron lentamente en el horno. Se normalizaron con el fin de poner los carburos en disolución, de homogeneizar la estructura austenítica y de afinar el grano.

Se austenizaron barras procedentes de este lingote a 940ºC, se templaron en aceite y después se sometieron a revenido a una temperatura de 650ºC.

Las características mecánicas obtenidas se indican en la siguiente tabla:

R_m (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A_{5d} (%)	Z (%)	HV_{50}	KCU (J/cm^2)	KV (J)
1289	1197	14,0	62	401	92	87

Se nitruraron muestras a 520ºC durante 100 h. El perfil de dureza obtenido se presenta en la figura 8, así como el obtenido para un mismo ciclo con un acero 32CrMoV13.

Este perfil muestra que el acero presenta, para un mismo ciclo de nitruración, una dureza superficial equivalente a la del acero 32CrMoV13 y una profundidad nitrurada claramente superior.

Ejemplo nº 9

Se fabricó un lingote de 1.000 kg con la composición química indicada a continuación en porcentaje en peso, según las indicaciones de la presente invención:

el 0,32% de C
el 0,03% de Si
el 0,86% de Mn
el 1,35% de Cr
el 0,78% de Ni
el 1,15% de Mo
el 0,28% de V
el 0,19% de Al

estando el resto constituido esencialmente por hierro y por impurezas residuales.

Este lingote se obtuvo mediante fusión a vacío y después refusión mediante electrodo consumible, a continuación se recalentó a alta temperatura (1.100ºC) con el fin de homogeneizar la estructura y después se laminó para dar como resultado unas barras cilíndricas de 100 mm de diámetro. Se sometieron estas barras a un tratamiento de normalización con el fin de poner los carburos en disolución, homogeneizar la estructura austenítica y afinar el tamaño de grano.

Se austenizaron muestras extraídas en estas barras a 940ºC, se templaron con aceite y se sometieron a revenido a 650ºC.

Se utilizó una parte de las muestras para determinar las características mecánicas en el estado templado revenido. Los resultados obtenidos se indican en las siguientes tablas:

R_m (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A_{5d} (%)	Z (%)	HV_{50}	KCU (J/cm^2)	KV (J)	KQ* (MPa√m)
1270	1194	16,0	66	414	93	87	115
* valor obtenido con probetas tipo CT 25 según la norma ASTM E 399-90.							

Temperatura de ensayo (ºC)	- 80	- 40	- 20	20	80
KV (J)	30	63	78	87	106

Se nitruró el resto de las muestras aplicando un ciclo de 100 h a 520ºC. De esas muestras algunas se protegieron frente a la nitruración con el fin de determinar la evolución de las características mecánicas del núcleo. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

R_m (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A_{5d} (%)	Z (%)	HV_{50}	KCU (J/cm^2)	KV (J)
1262	1141	15,0	64	404	89	79

La figura 9 permite por otro lado comparar los perfiles de dureza obtenidos tras la nitruración con este acero y con un acero 32CrMoV13.

Por último, se determinó el límite de resistencia a la fatiga por flexión rotativa a $2 \cdot 10^7$ ciclos según la norma NFA 03-102, utilizando probetas que presentaban un factor de concentración de tensión Kt = 1,035. Se estudiaron dos casos, el acero en el estado templado y revenido, así como el acero en el estado templado, revenido y nitrurado tal como se ha descrito anteriormente. Los resultados obtenidos se indican en la siguiente tabla y se comparan con los mejores valores conocidos para el acero 32CrMoV13:

Estado de las probetas	Límite de resistencia a la fatiga (MPa)	
	Invención	32CrMoV13
Templado, revenido	813	822
Templado, revenido, nitrurado	1336	1204

Profundidad de nitruración

La profundidad del gradiente de dureza permite medir el rendimiento de un acero según la invención en cuanto a la cinética de nitruración. Esta profundidad se define convencionalmente en Europa midiendo la profundidad a la cual la dureza es igual a la del núcleo + 100 HV (dureza Vickers).

En los Estados Unidos, la convención es definir la profundidad a la cual la dureza es igual a 50 HRC (es decir 513 HV, valor obtenido mediante conversión según la norma ASTM E140).

Las profundidades obtenidas para cada uno de los 9 ejemplos anteriores según estas dos convenciones se reúnen en la siguiente tabla:

Ejemplos	Profundidad definida a dureza HV de núcleo +100 (mm)		Profundidad definida a 50 HRC (513 HV) (mm)	
	32CrMoV13	Invención	32CrMoV13	Invención
1	0,57	0,68	0,56	0,67
2	0,57	0,67	0,56	0,67
3	0,57	0,68	0,56	0,72
4	0,57	0,73	0,56	0,74
5	0,57	0,60	0,56	0,65
6	0,57	0,62	0,56	0,63
7	0,57	0,67	0,56	0,71
8	0,57	0,72	0,56	0,80
9	0,57	0,73	0,56	0,80

Estos diferentes resultados muestran claramente que una pieza fabricada según la invención presenta un excelente compromiso entre resistencia mecánica a la tracción, resiliencia y tenacidad de la subcapa. Además, presenta un excelente compromiso entre la dureza superficial, la profundidad de nitruración y la duración del ciclo de nitruración.

Las piezas fabricadas según la invención pueden ser, en particular, barras, planchas, preformas forjadas o matrizadas, tubos o hilos.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de fabricación de piezas tratadas y nitruradas, que comprende las etapas siguientes

a) constitución de una carga destinada a obtener una composición química determinada que comprende, expresados en % en peso, del 0,25 al 0,37% de C; del 1,1 al 1,8% de Cr, del 0,8 al 1,5% de Mo; del 0,1 al 0,3% de Al; del 0,2 al 1,1% de Mn; del 0,5 al 1,3 % de Ni; del 0,1 al 0,4 de V, como máximo el 0,35% de Si, como máximo el 0,015% de S y como máximo el 0,020% de P, estando el complemento constituido por hierro y por impurezas residuales, cumpliendo los contenidos de esta composición en Cr, Mo, V y Al, expresados en % en peso, la siguiente relación: $4 \leq 3Cr + Mo + V + 2Al \leq 8$

b) elaboración de dicha carga en un horno de arco o a presión reducida eventualmente seguida por una refusión mediante electrodo consumible, con escoria o a presión reducida

c) recalentamiento y transformación en caliente del lingote

d) tratamiento térmico de homogeneización de la estructura y de afinamiento del grano que comprende una normalización a una temperatura superior a la del punto crítico AC_3, un enfriamiento al aire y un revenido de ablandamiento a una temperatura inferior a la del punto crítico AC_1

e) tratamiento térmico de empleo que comprende un templado a partir de una temperatura de austenización en el intervalo de 900-1.000ºC, seguido por un revenido a una temperatura de 550-750ºC y

f) nitruración.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la elaboración en un horno de arco de la etapa b) se realiza a presión reducida.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque la temperatura del revenido en la etapa e) es superior en al menos 30ºC a la temperatura de nitruración.

4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque la composición química de la etapa a) comprende además como máximo el 0,1% en peso de cada elemento Ca, Ce, Nb, Ti, Zr.

5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque dicha composición química expresada en % en peso está constituida por el 0,32% de C, el 0,03% de Si, el 0,86% de Mn, el 1,35% de Cr, el 0,78% de Ni, el 1,15% de Mo, el 0,28% de V y el 0,19% de Al, estando el complemento constituido por hierro y por impurezas residuales.

FIG. 1

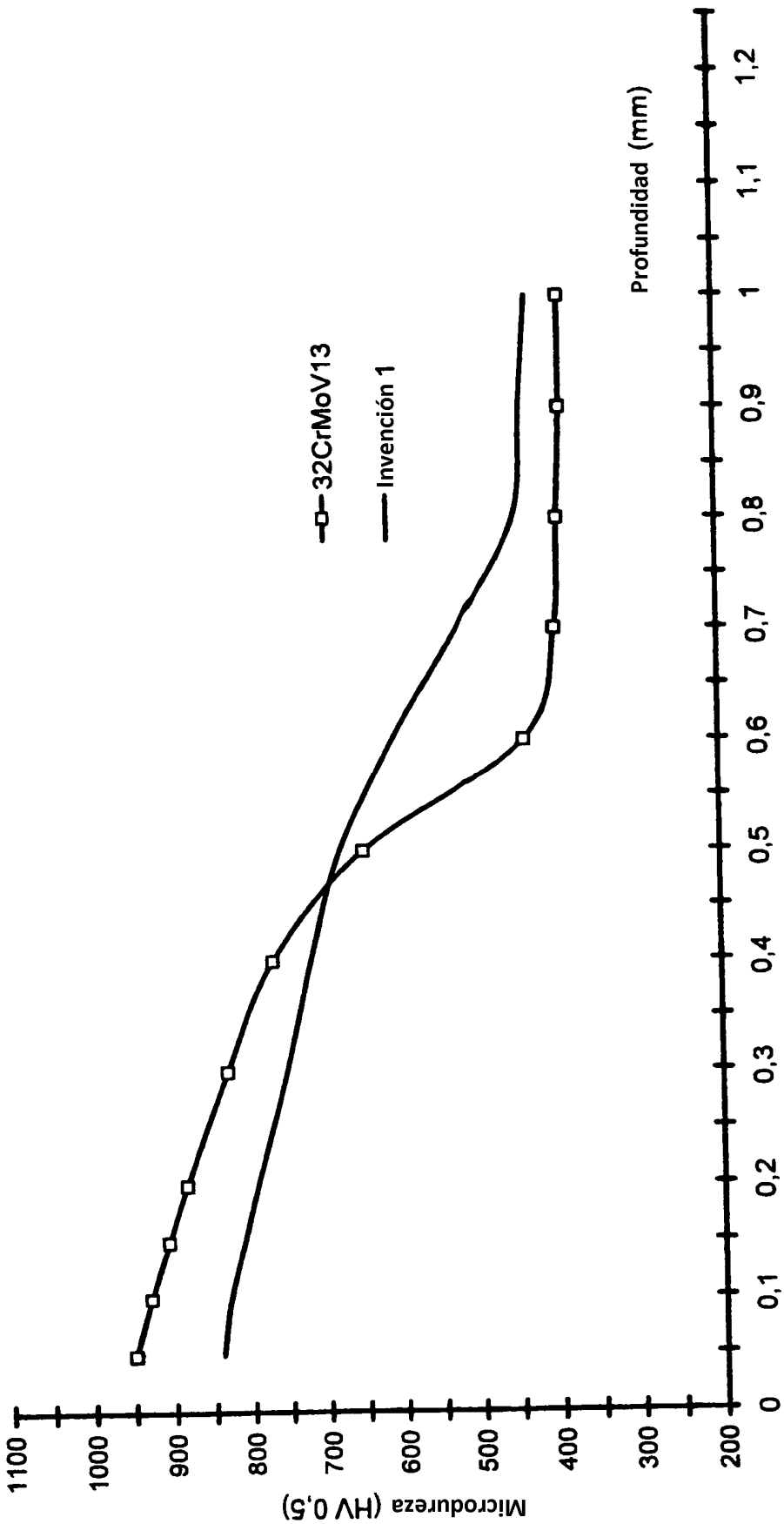

32CrMoV13
Invención 1
Profundidad (mm)
Microdureza (HV 0,5)
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1
1,1
1,2

FIG. 2

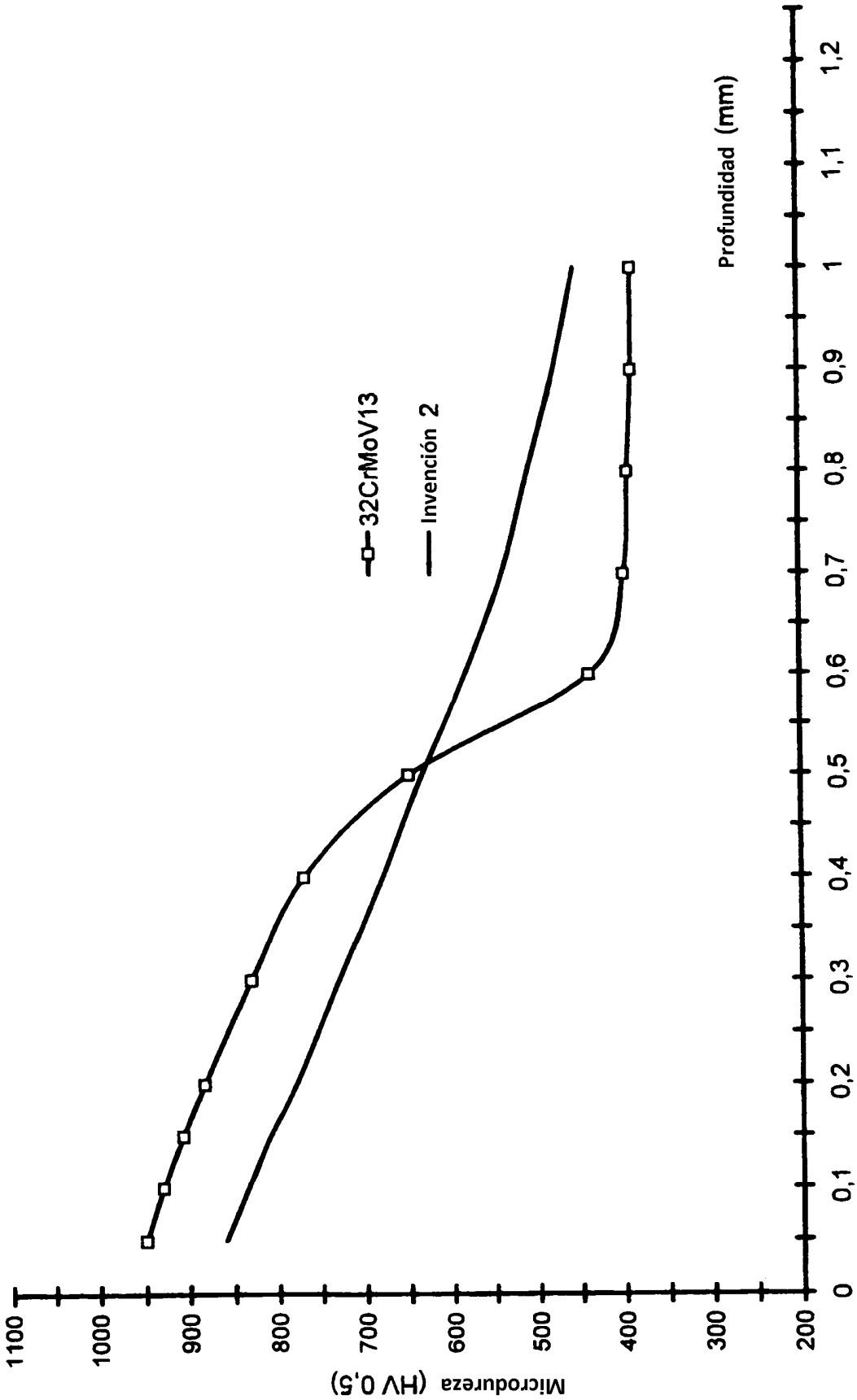

32CrMoV13
Invención 2
Profundidad (mm)
Microdureza (HV 0,5)
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1
1,1
1,2

FIG. 3

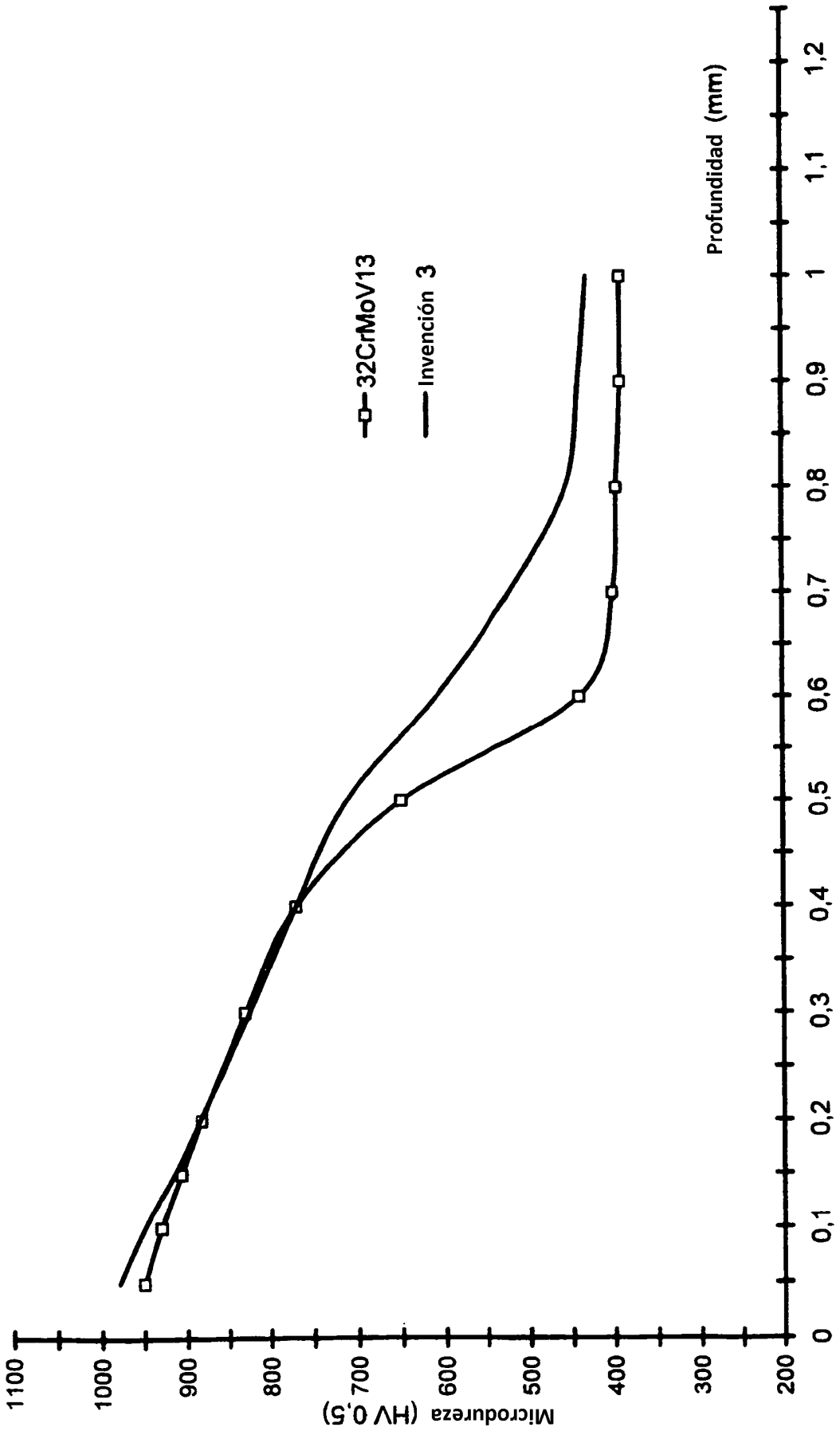

32CrMoV13
Invención 3
Profundidad (mm)
Microdureza (HV 0,5)
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1
1,1
1,2

FIG.4

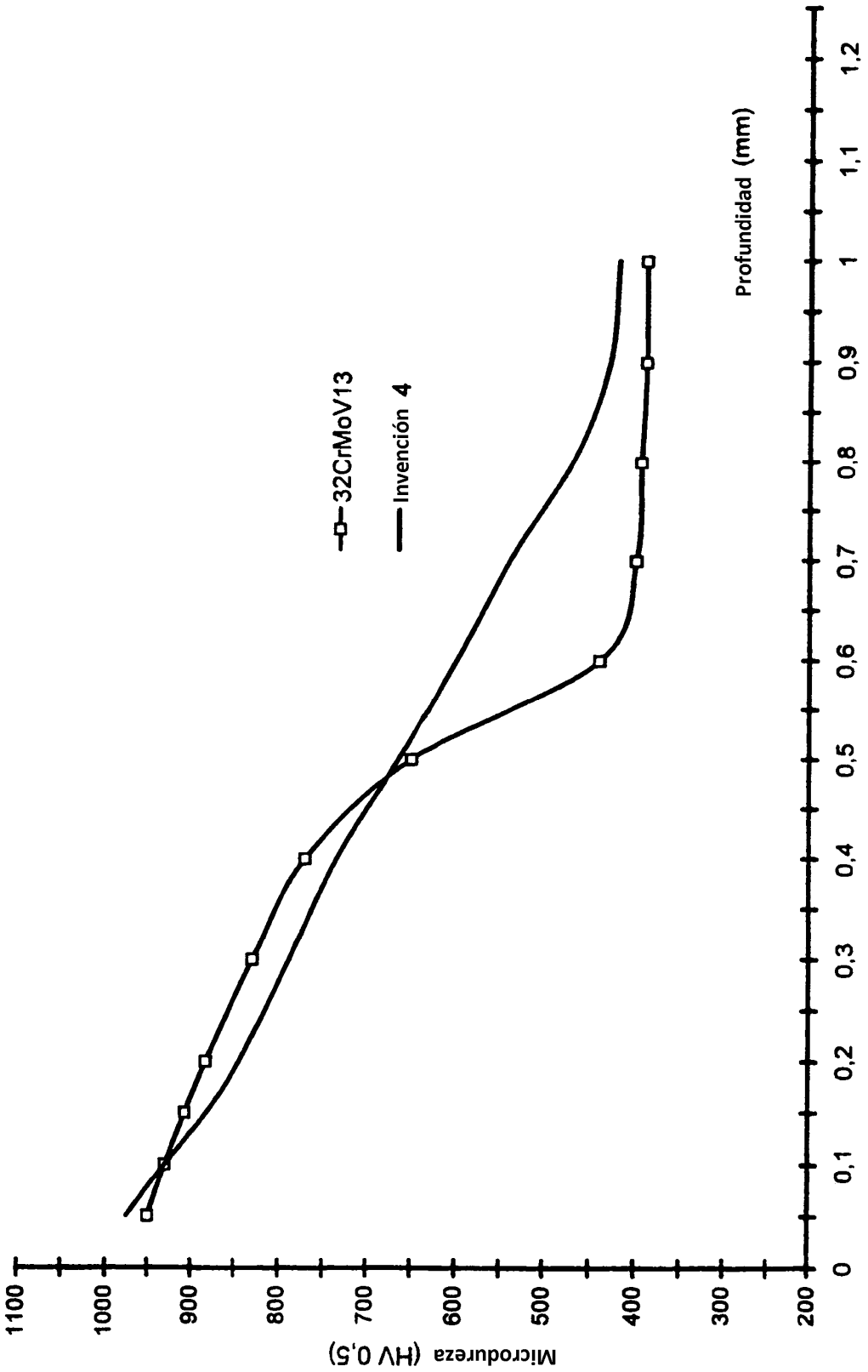

32CrMoV13
Invención 4
Profundidad (mm)
Microdureza (HV 0,5)
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1
1,1
1,2

FIG. 5

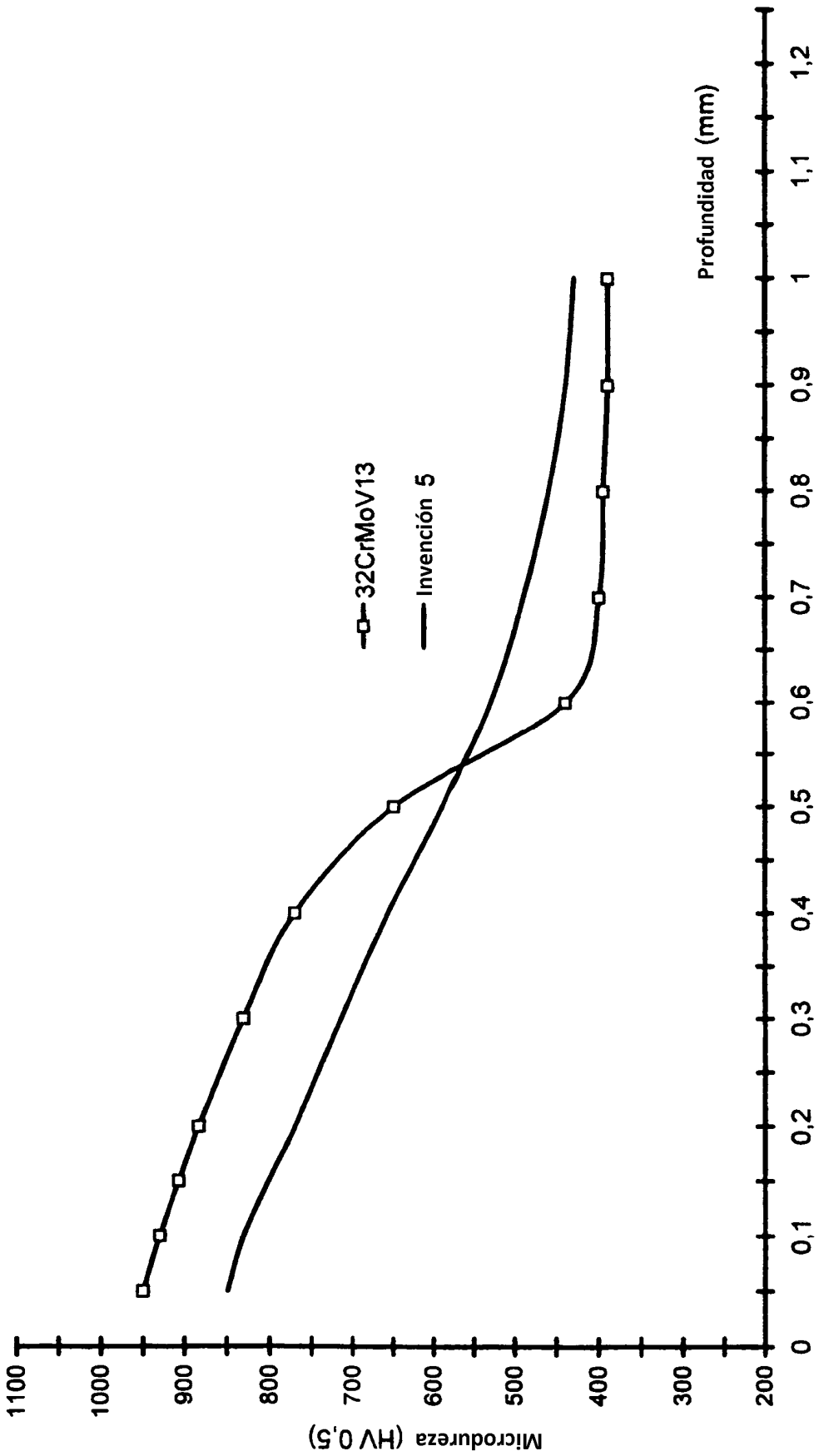

32CrMoV13
Invención 5
Microdureza (HV 0,5)
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1
1,1
1,2
Profundidad (mm)

FIG. 6

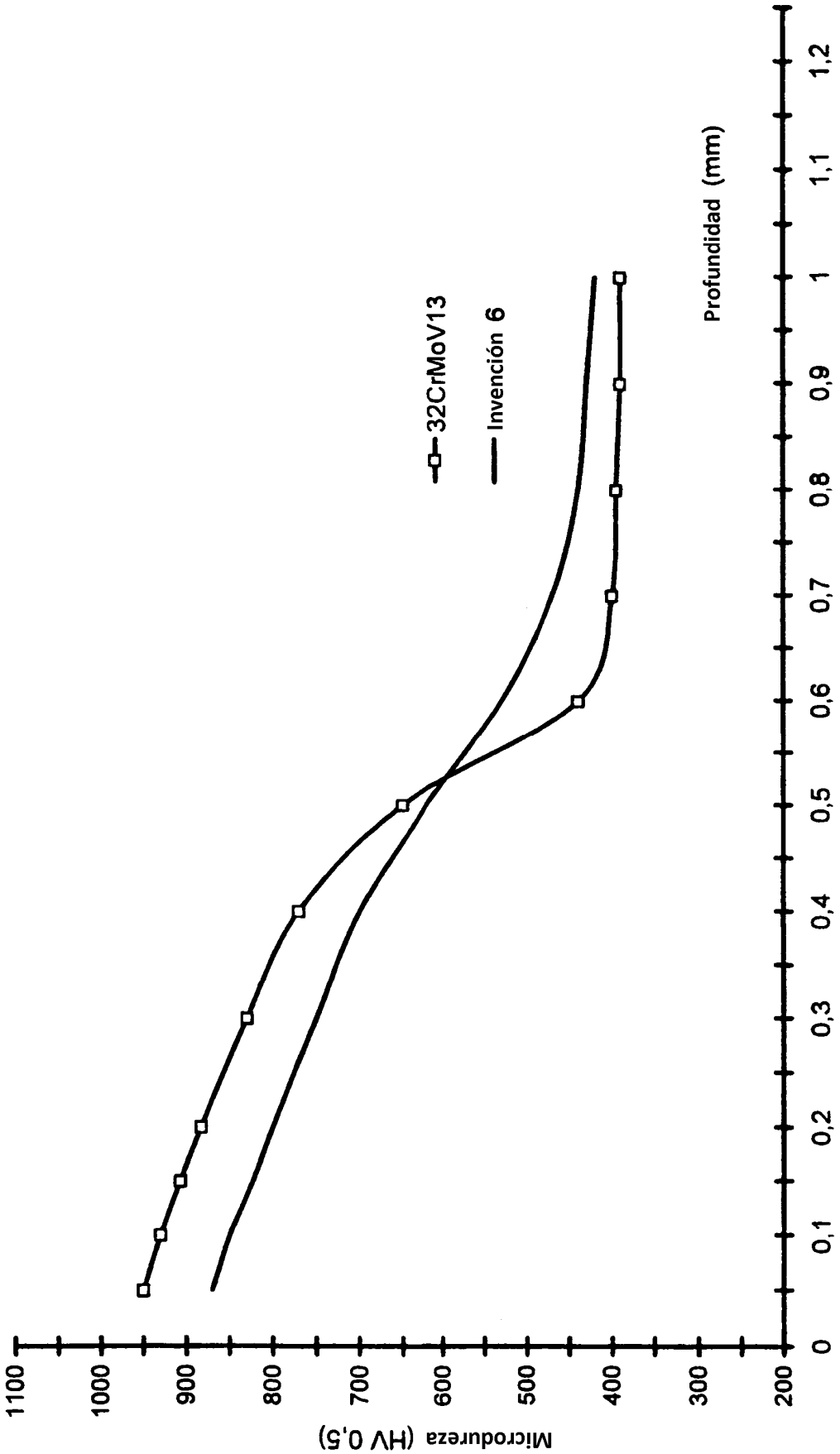

Microdureza (HV 0,5)
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1
1,1
1,2
Profundidad (mm)
32CrMoV13
Invención 6

FIG. 7

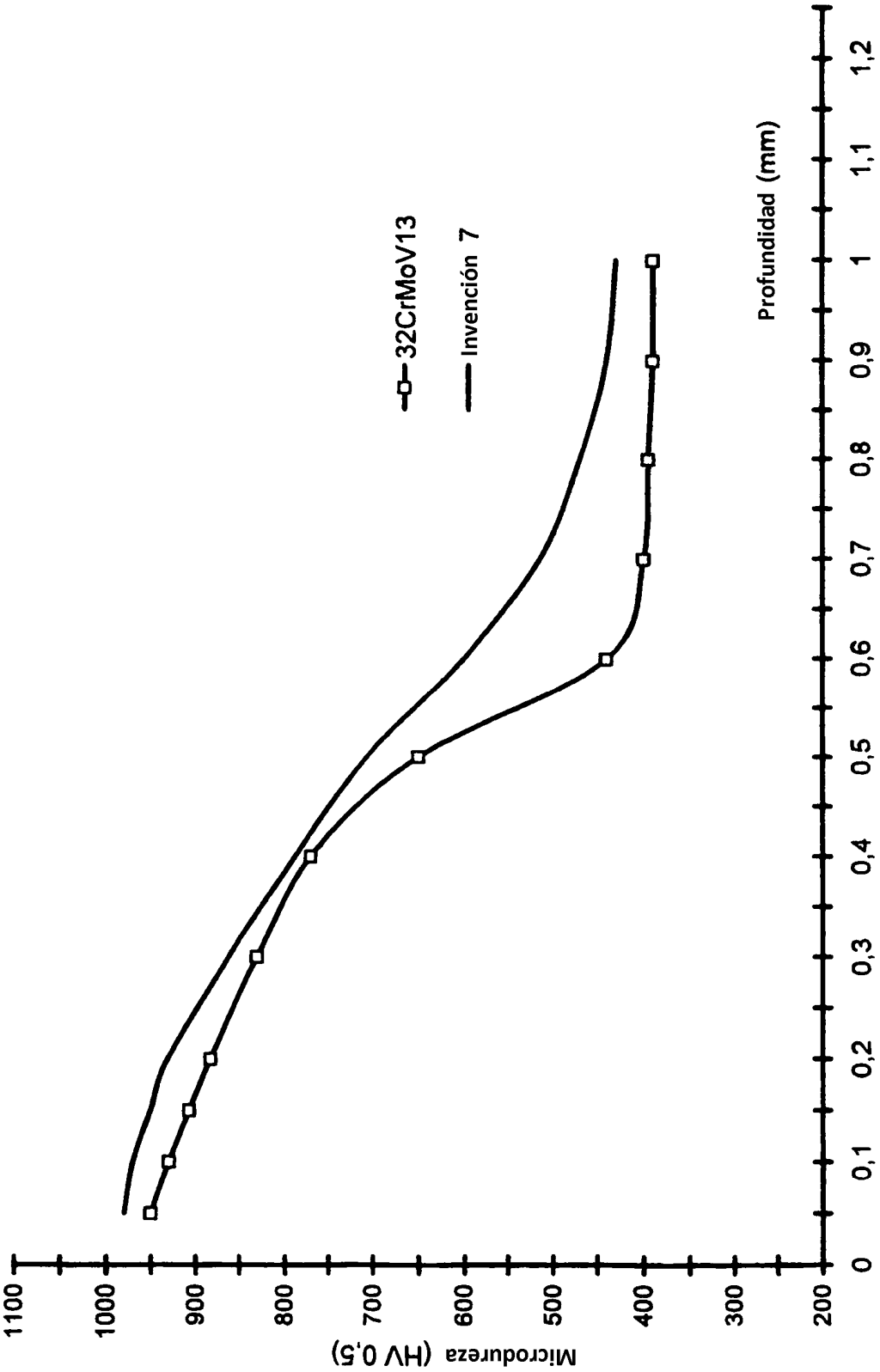

32CrMoV13
Invención 7
Profundidad (mm)
Microdureza (HV 0,5)
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1
1,1
1,2

FIG.8

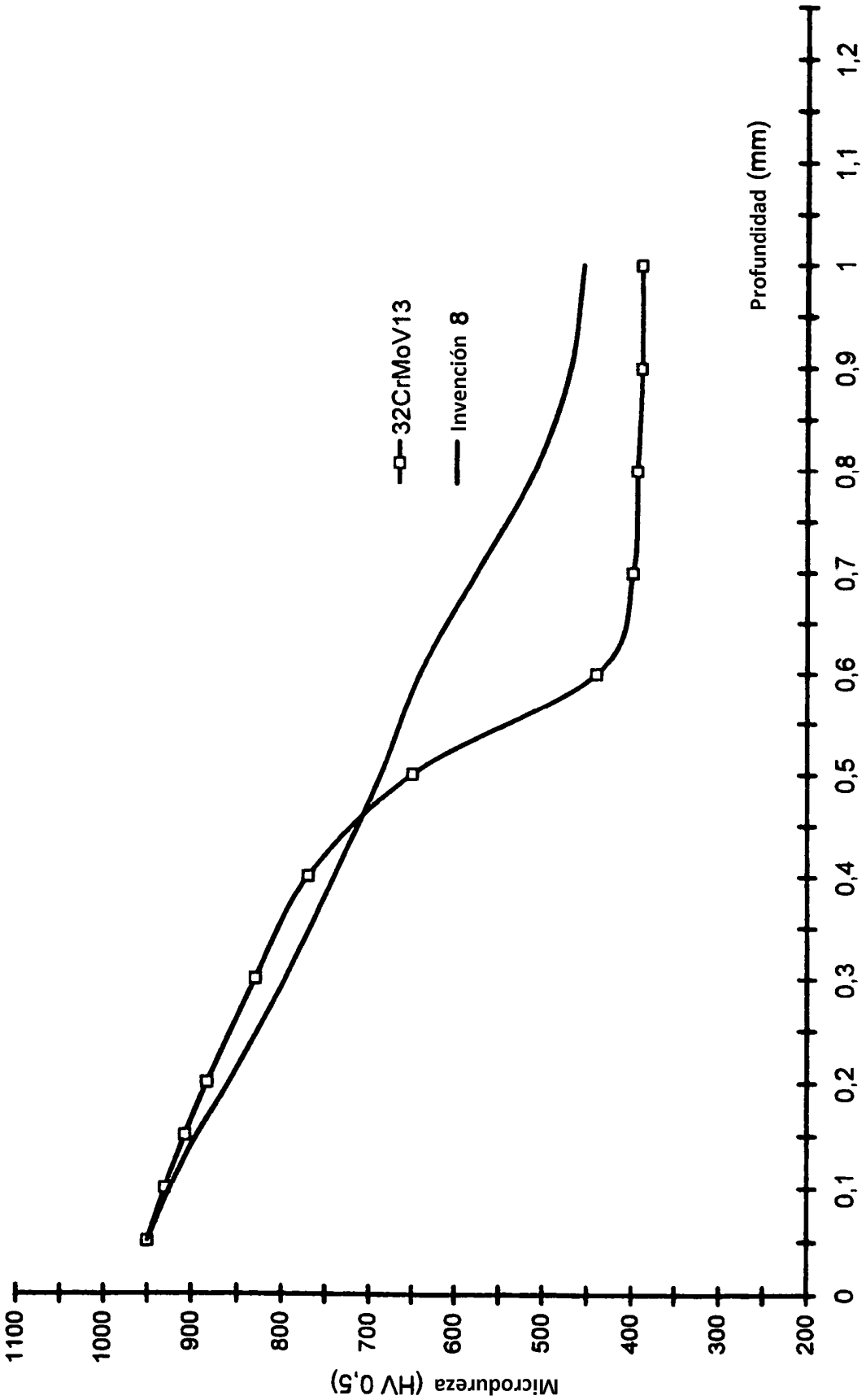
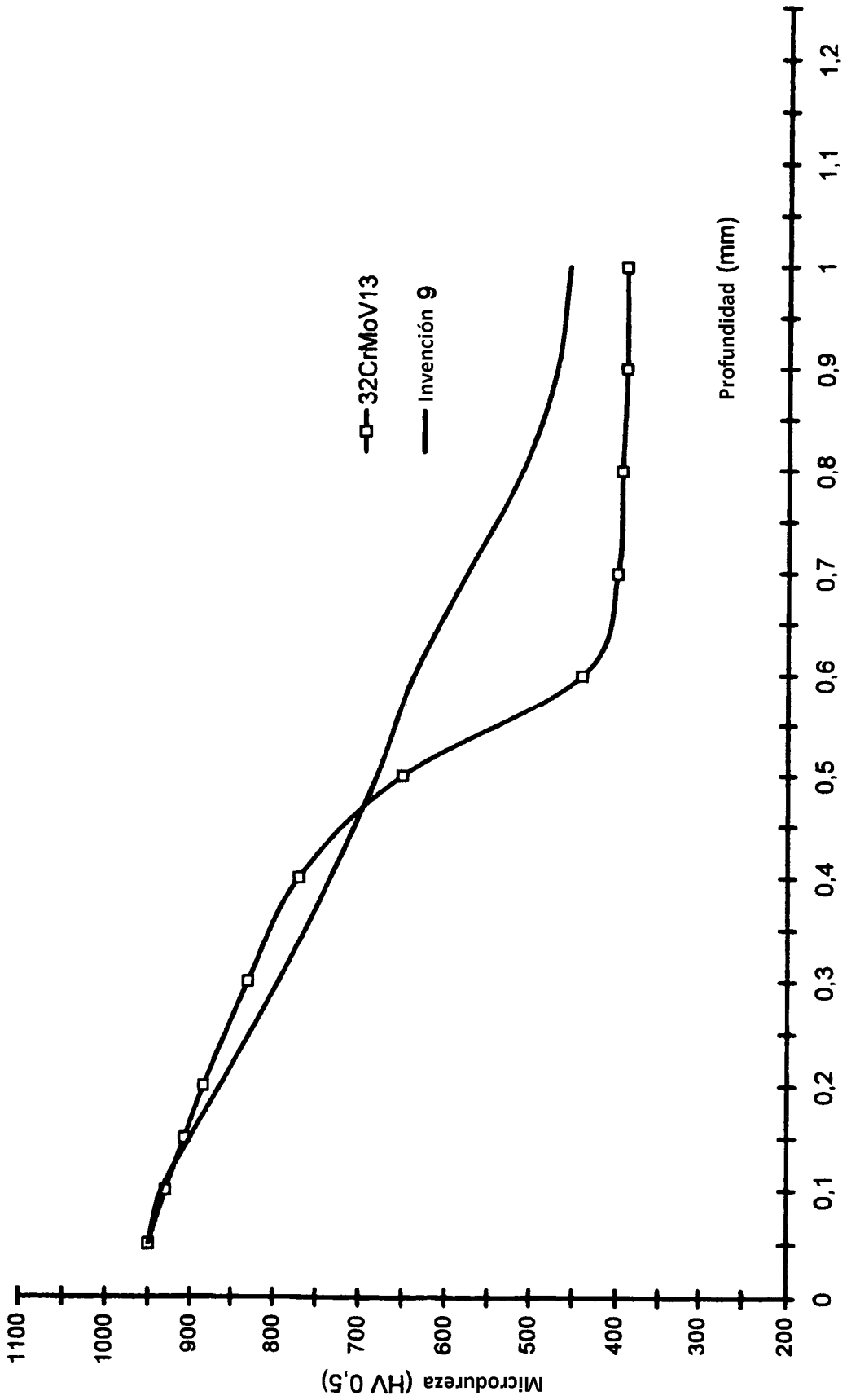

32CrMoV13
Invención 8
Profundidad (mm)
Microdureza (HV 0,5)
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1
1,1
1,2
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100

FIG. 9


32CrMoV13
Invención 9
Profundidad (mm)
Microdureza (HV 0,5)
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1
1,1
1,2
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100