

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 554 608**

51 Int. Cl.:

B21D 37/00 (2006.01)
B21D 37/16 (2006.01)
C21D 1/02 (2006.01)
C21D 7/13 (2006.01)
C21D 8/00 (2006.01)
C21D 9/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.02.2009 E 09002103 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.11.2015 EP 2090383**

54 Título: **Métodos para procesar termomecánicamente acero para herramientas y herramientas hechas a partir de aceros para herramientas procesados termomecánicamente**

30 Prioridad:

15.02.2008 US 29236 P

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

22.12.2015

73 Titular/es:

**DAYTON PROGRESS CORPORATION (100.0%)
500 PROGRESS ROAD
DAYTON, OH 45449, US**

72 Inventor/es:

**SHEPARD, CHRISTON L.;
TURPIN, DAVID L.;
LAPARRE, RONALD R.;
SHAFFER, ALAN L. y
CHANDRASEKHARAN, SHRINIDHI**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 554 608 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

Métodos para procesar termomecánicamente acero para herramientas y herramientas hechas a partir de aceros para herramientas procesados termomecánicamente

5 **Antecedentes**

10 La invención se refiere al procesamiento termomecánico de acero para herramientas, métodos para formar herramientas usando acero para herramientas procesado termomecánicamente, y herramientas usadas en aplicaciones de formación de metal y corte de metal.

15 Entre los varios grados de aceros al carbón y de aleación comercialmente disponibles, los grados de acero para herramientas sufren severos esfuerzos, impacto y/o desgaste. Los aceros para herramientas generalmente se caracterizan por una dureza distintiva, resistencia a la abrasión, una capacidad para sostener un borde de corte, y una resistencia a la deformación a temperaturas elevadas. Consecuentemente, el acero para herramientas encuentra un amplio uso en aplicaciones de formación de metal y corte de metal, equipo y calibradores de inspección, y componentes de desgaste/impacto en máquinas herramienta.

20 Varios tipos de herramientas se usan en aplicaciones de formación de metal y corte de metal, tales como mecanizado, punción, acuñamiento, estiramiento, compactación de polvo, grabado con metal, estampado con agujas y similares. En particular, los troqueles y matrices representan tipos de herramientas formadoras de metal usadas en punción, perforación y formación de piezas de trabajo metálicas y no metálicas. Las herramientas de corte e insertos representan tipos de herramientas de corte de metal usadas en aplicaciones de mecanizado para configurar piezas de trabajo metálicas y no metálicas. Calibradores de tapón, calibradores de rosca, calibradores de tubo, calibradores de anillo y discos de fijación representan tipos de herramientas usadas en aplicaciones de inspección. Las correderas y retenedores de máquinas representan tipos de componentes de desgaste e impacto usados en máquinas herramienta.

30 Los troqueles y las matrices son sometidos a carga severa y repetida durante su vida de operación. En particular, los troqueles tienden a fallar durante el uso a partir de rompimiento catastrófico inducido por esfuerzos significativos experimentados durante su uso. Las demandas sobre herramientas formadoras de metal se vuelven más severas con la introducción de piezas de trabajo construidas a partir de aceros que tienen relaciones de resistencia y peso superiores, tales como aceros de resistencia ultra-alta (UHSS), aceros de resistencia alta avanzados (AHSS), aceros de plasticidad inducida por transformación (TRIP), aceros de plasticidad inducida por acoplamiento (TWIP), nano-
35 aceros y aceros martensíticos (MART). Por ejemplo, la industria de los automóviles está migrando hacia el uso más frecuente de estos tipos de aceros de alta resistencia y peso bajo para estructuras de carrocerías de vehículos.

40 El documento US 3903761 divulga una broca de accionamiento que tiene una sección transversal “en forma de pera” y una estructura de grano que se conforma a la configuración externa de la broca. La broca de accionamiento está formada inicialmente mediante forjado en caliente en una prensa de impacto; se precalienta en una atmósfera neutra a una temperatura predeterminada, se endurece en un horno de endurecimiento a una temperatura específica, se enfría en un aceite caliente de circulación, se temple a otra temperatura específica, y a continuación se granalla.

45 En un aspecto, se proporciona un método de procesamiento de manera termomecánica de una preforma compuesta de acero para herramientas según la reivindicación 1.

50 En otra realización, se proporciona una herramienta para su uso en una máquina para modificar una pieza de trabajo según la reivindicación 10.

Breve descripción de los dibujos

55 Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria, ilustran realizaciones de la invención que, junto con la breve descripción dada anteriormente y una descripción detallada de las realizaciones que se da a continuación, sirven para explicar los principios de las realizaciones de la invención.

La figura 1 es una representación gráfica de relaciones de tiempo-temperatura ilustrativas para el procesamiento termomecánico de acero para herramientas M2 AISI de acuerdo con realizaciones de la invención.

60 La figura 1A es una representación gráfica de otras relaciones de tiempo-temperatura ilustrativas para el procesamiento termomecánico de acero para herramientas de acuerdo con realizaciones de la invención.

La figura 2A es una vista en alzado lateral de una herramienta y una vista en sección transversal de una matriz correspondiente de acuerdo con una realización representativa de la invención.

65

La figura 2B ilustra una vista en sección transversal agrandada de la herramienta y la matriz de la figura 2A.

Las figuras 3A y 3B son vistas en perspectiva de una realización de una preforma que comprende una carcasa y un núcleo antes y después de la deformación, respectivamente.

5 La figura 3C es una vista en perspectiva de una realización de una herramienta hecha a partir de la preforma deformada de la figura 3C.

10 Las figuras 4A, 4B y 4C son representaciones gráficas de mediciones de las fases presentes, una distribución de ángulos de desorientación de los granos y una figura de polos, respectivamente, de una realización ilustrativa de la presente invención hecha de acero para herramientas M2.

15 Las figuras 5A, 5B y 5C son representaciones gráficas de mediciones de las fases presentes, una distribución de ángulos de desorientación de los granos y una figura de polos, respectivamente, de otra realización ilustrativa de la presente invención hecha de acero para herramientas M2.

20 Las figuras 6A, 6B y 6C son representaciones gráficas de las fases presentes, una distribución de ángulos de desorientación de los granos, y una figura de polos, respectivamente, de una barra de acero para herramientas M2 tratada de acuerdo con la técnica anterior.

La figura 7 es una vista en perspectiva que ilustra una configuración de preforma ilustrativa para el procesamiento termomecánico de un acero para herramientas de acuerdo con una realización de la invención.

25 La figura 8A es una vista en planta de la preforma ilustrativa de la figura 7 antes del procesamiento, de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 8B es una vista en sección transversal parcial de la preforma ilustrativa de la figura 8A después de la deformación y tomada a lo largo de la línea de sección 8B-8B de la figura 7.

30 La figura 9 es una representación en sección transversal esquemática de una matriz ilustrativa y una corredera para el procesamiento termomecánico de las configuraciones de la preforma ilustradas en las figuras 4 y 5A.

35 La figura 10A es una fotomicrografía tomada a una amplificación de 13X de una sección transversal tomada a través de una sección de forma oblonga de la figura 8B de una preforma configurada como se muestra en la figura 8B.

La figura 10B es una representación esquemática de la fotomicrografía de la figura 10A, que ilustra la orientación de granos preferencial trazada como líneas curvas.

40 Las figuras 11A y 11B son vistas en perspectiva que ilustran una configuración de una preforma antes de la deformación y después de la deformación y del mecanizado, respectivamente.

45 La figura 11C es una vista en perspectiva de un conjunto de herramientas hechas a partir de la preforma mostrada en la figura 11B en una posición operable, una con respecto a otra, para proporcionar un movimiento de esfuerzo cortante o de corte para cortar láminas de material de acero.

Las figuras 12A, 13A, 14A y 15A son vistas gráficas que ilustran una comparación de medidas de desgaste de un perfil de un borde de corte de herramientas ilustrativas de la presente invención y el borde de corte de una herramienta hecha de un material de referencia, cada una teniendo la configuración ilustrada en la figura 11C.

50 Las figuras 12B, 13B, 14B, y 15B son vistas en planta de las herramientas de la figura 11C que ilustran las ubicaciones de medición para los perfiles de desgaste provistos en las gráficas de las figuras 12A, 13A, 14A, y 15A, respectivamente.

55 La figura 16A es una fotomicrografía tomada de una sección transversal de una amplificación de 17X de una región mostrada en la figura 11B que abarca un borde de corte de una herramienta que ilustra la orientación de granos preferencial en un área que abarca el borde de corte.

60 La figura 16B es una representación esquemática de una fotomicrografía de la figura 16A con líneas de granos trazadas para ilustrar la orientación preferida.

Descripción detallada de la invención

65 De acuerdo con una realización de la invención, un método para hacer una herramienta incluye fabricar una preforma a partir de acero para herramientas, donde al menos una región de la preforma se procesa termomecánicamente. La región de la preforma típicamente incluye un volumen sustancial de acero para

herramienta o una porción volumétrica de la preforma. Para una geometría de preforma cilíndrica, por ejemplo, la región termomecánicamente procesada que es procesada con un procedimiento de forjado radial o forjado de esfuerzo plano puede incorporar un 60 % exterior del volumen con un volumen interior de la porción restante de acero para herramientas no se ven afectadas relativamente por el procedimiento. Por lo tanto, para una geometría de preforma, el volumen de la región puede abarcar al menos un volumen exterior de una sección transversal de la preforma. La región se puede extender al menos parcialmente a través o completamente a través del área de sección transversal. Por lo tanto, en esta realización, el volumen exterior o región modificada se extiende desde una superficie exterior de la región a una profundidad mayor que al menos 0,039 pulgadas (1 mm), aunque las dimensiones del volumen pueden ser tales que la profundidad se pueda extender más profundamente en la preforma. Sin embargo, la profundidad de la región no necesita ser uniforme, más bien una profundidad en una porción de la región puede ser menor de 0,039 pulgadas (1 mm), pero una profundidad en otra porción se extiende a más de 0,039 pulgadas (1 mm).

Aunque la región verificada se describió anteriormente como un volumen exterior en la forma de una capa alrededor de un volumen interior, la región modificada puede ser una región de forma irregular. Este puede ser el caso, por ejemplo, donde la superficie exterior de la preforma tiene una forma geométrica antes de deformarse, pero después es deforma cambiando al menos una de las dimensiones externas de la región para formar un objeto con una forma diferente. Por ejemplo, la deformación puede incluir un cambio en una o más del área de sección transversal u otra dimensión externa que puede incrementar o disminuir una longitud de la región. Un experto en la técnica observará que el volumen del material procesado puede depender de muchos otros factores incluyendo, pero sin limitarse, el tamaño y la forma de la preforma, así como la capacidad y el tipo del equipo de deformación. Generalmente, a medida que la capacidad de carga del equipo de forjado se incrementa y el tamaño de la preforma disminuye, la región deformada puede incorporar una porción mayor, si no es que toda, de la preforma. Por lo tanto, a diferencia de las operaciones de tratamiento de superficie, tales como forjado en frío y similares, las realizaciones de la presente invención no se limitan a formar capas de superficie delgadas que sean contraídas para seguir el contorno previamente establecido de la parte. Además, las realizaciones de la presente invención deforman una porción mayor del acero para herramientas y, en algunas realizaciones, determinan el contorno de la preforma o las dimensiones de la superficie exterior. A ese respecto, las regiones de la preforma se pueden medir a través del espesor de la masa de la preforma o herramienta y la forma de la preforma puede no estar relacionada con la forma final de la herramienta.

Además de influir en el volumen del acero para herramientas procesado, la geometría o forma de la preforma antes del procesamiento termomecánico puede influir en la microestructura final. Por ejemplo, la forma de la preforma puede influir en o determinar la orientación de los granos, así como las características de la microestructura en la región termomecánicamente procesada. Un experto en la técnica apreciará que la preforma de acero para herramientas puede ser uno de una pluralidad de configuraciones que tienen cualquier número de formas en sección transversal, tal como tales como material de abastecimiento de barras que tiene una sección transversal circular, rectangular o poligonal, o material de abastecimiento que tiene una forma y una sección transversal más complejas. La determinación de la geometría de la preforma se puede desarrollar con base en la experiencia histórica, requerimientos de la herramienta y/o limitaciones de procesamiento. Por ejemplo, la geometría de la preforma se puede seleccionar con base al tipo de procesamiento utilizado y a la geometría final objetivo de la herramienta.

Aunque la temperatura de la región se mantiene en los intervalos de temperatura descritos más adelante de acuerdo con diferentes realizaciones de la invención, la región es sometida a deformación. En realizaciones de la invención, la cantidad de deformación es suficiente para mejorar las propiedades mecánicas de la región deformada. La cantidad de deformación puede ser cuantificada por el cálculo de una relación de reducción, que se define como la reducción relativa en área de sección transversal debido al procesamiento termomecánico. La mejora en las propiedades de la región se piensa que es proporcional a la cantidad de deformación. A modo de ejemplo y no de limitación, una relación de reducción de tan poco como del 20 % puede dar como resultado una mejora medible en las propiedades mecánicas de la región. La cantidad de deformación que da una mejora medible en las propiedades mecánicas se cree que está limitada únicamente por la recristalización dinámica del acero para herramientas. En otras palabras, la cantidad de deformación se puede mantener por debajo de un umbral efectivo para hacer que la microestructura deformada se recristalice. Si se recristaliza, se puede observar una disminución medible en las propiedades mecánicas comparadas con una microestructura no recristalizada. La disminución en las propiedades mecánicas específicas puede ser al menos de aproximadamente un 20 %. Sin embargo, aunque se pueda observar una disminución, las propiedades mecánicas pueden mejorarse en comparación con una herramienta preparada mediante el tratamiento con calor del acero para herramientas por encima de intervalos de temperatura especificados, como se describirá con más detalle más adelante. Un experto en la técnica apreciará que, además de la cantidad de deformación, la recristalización dinámica es contingente sobre la composición del acero para herramientas y la temperatura a la cual se produce la deformación.

Como se expuso anteriormente, el procesamiento termomecánico incluye la deformación plástica de la preforma de acero para herramientas, mientras la preforma de acero para herramientas se mantiene a una temperatura elevada. Los procedimientos adecuados capaces de deformar plásticamente la preforma incluyen, pero no se limitan a, procedimientos de forjado tales como forjado radial, laminado de anillo, forjado giratorio, estampado, tixoformación,

ausformación y recalado en tibio/caliente, aunque otros procedimientos de deformación adecuados se pueden usar. Por ejemplo, las técnicas también pueden incluir aquellas donde la dirección de deformación de principio no es sustancialmente perpendicular a un eje longitudinal de la preforma. Como se mencionó anteriormente, otras técnicas, tales como forjado en frío, aunque a una temperatura elevada, crean una deformación muy poco profunda y, por lo tanto, son excluidas, ya que se requiere una deformación plástica más profunda para proporcionar la mejora requerida en las propiedades mecánicas.

Uno de dichos procedimientos es el forjado de deformación plana que produce deformación plástica principalmente radial y circunferencial de la preforma de acero para herramientas. Por lo tanto, el forjado de deformación plana puede limitar el alargamiento del grano en una dirección que es perpendicular a la carga aplicada. La preforma puede presentar una distribución sustancialmente uniforme de propiedades mecánicas a lo largo de su longitud y alrededor de su periferia como resultado. Por consiguiente, en una realización, el forjado de deformación plana incluye procedimientos de deformación plástica que producen poco alargamiento de grano, si acaso, en una dirección particular. Sin embargo, cualquier combinación de los procedimientos antes mencionados capaces de deformar plásticamente la preforma se pueden usar cuando se procesa termomecánicamente la preforma de acero para herramientas.

En otra realización adicional, una herramienta existente puede servir como la preforma. Por ejemplo, además de una herramienta no usada, la herramienta existente puede incluir una herramienta usada, una herramienta dañada o una herramienta rota. La herramienta existente es procesada termomecánicamente, como se describe en el presente documento, para volver a fabricar o procesar la herramienta para restaurar su utilidad.

Como se proporcionó anteriormente, el procesamiento termomecánico incluye la deformación plástica de una región de la preforma mientras la región es mantenida a una temperatura de procesamiento elevada. La temperatura de la preforma durante la deformación puede estabilizarse enfriando la preforma desde temperaturas más altas. Dicho procedimiento puede incluir, a modo de ejemplo únicamente, colar un lingote o preforma de acero para herramientas a partir de materiales de partida fundidos, enfriar la preforma colada a una temperatura de procesamiento más baja y deformarla a la temperatura de procesamiento. Alternativamente, la preforma se puede llevar a la temperatura de procesamiento a la cual tiene lugar la deformación calentando la preforma desde una temperatura en o cerca de la temperatura ambiente, como se describe con más detalle más adelante.

En particular, y con referencia a la figura 1, la preforma se deforma a una temperatura de procesamiento que está por encima de una temperatura de inicio de la transformación martensítica (M_S) del acero para herramientas (una temperatura de inicio martensítica) pero por debajo de una temperatura austenítica estable (AC_3) del acero para herramientas cuando la preforma contiene austenita. M_S es la temperatura a la cual se inicia la transformación de austenita a martensita durante el enfriamiento, y AC_3 es la temperatura a la cual la transformación de ferrita a austenita se completa durante el calentamiento.

Además, como es evidente en la figura 1, la temperatura de inicio austenítica (AC_1) representa la temperatura a la cual empieza a formarse la austenita durante el calentamiento. Un experto en la técnica apreciará que M_S , AC_1 y AC_3 , son cada una dependientes de la composición particular del acero para herramientas. Por consiguiente, cualquier caso expuesto en el presente documento, donde M_S , AC_1 o AC_3 se referencian junto con una temperatura específica no se pretende que restrinja las definiciones de la misma a esa temperatura particular.

En vista de las temperaturas definidas anteriormente y de acuerdo con una realización, cuando la preforma de acero para herramientas está a una temperatura entre M_S y AC_3 y cuando la región contiene austenita (por ejemplo, austenita metastable), toda o una porción de la preforma de acero para herramientas es procesada, es decir, la preforma de acero para herramientas es plásticamente deformada o forjada. Como consecuencia, la región deformada de la preforma de acero para herramientas tiene ciertas propiedades mecánicas mejoradas que se describen más adelante. Por ejemplo, la mejora en la resistencia al impacto o firmeza de la región deformada puede ser al menos aproximadamente un 20 % más grande, y en un ejemplo adicional, puede ser al menos un 50 % más grande que la deformación de la preforma por encima de AC_3 cuando la microestructura es predominantemente austenita estable.

Como se introdujo anteriormente, en una realización, el método incluye calentar la preforma de acero para herramientas en un intervalo de temperatura de tal manera que al menos una porción de la preforma contenga austenita. Un experto en la técnica observará que se pueden utilizar muchos perfiles de temperatura diferentes para llevar la preforma de acero para herramientas a intervalos de temperatura dentro de los mencionados anteriormente antes de la deformación. A modo de ejemplo únicamente, y con referencia a la figura 1, la preforma de acero para herramientas puede calentarse desde una temperatura por debajo de M_S a una temperatura de procesamiento (marcada con el número 10) por encima de AC_1 . En este ejemplo, la temperatura es de aproximadamente 1530°F (aproximadamente 832°C) y AC_3 es de aproximadamente 2250°F (aproximadamente 1232°C). La preforma de acero para herramientas entonces puede deformarse mientras se mantiene a una temperatura de procesamiento entre AC_1 y AC_3 .

Otro perfil de temperatura puede incluir calentar la preforma de acero desde una temperatura por debajo de M_S a una temperatura entre AC_1 y AC_3 y después enfriar la preforma de acero para herramientas a una temperatura de procesamiento por encima de M_S (marcado con el número 11) antes de deformarla. En otra realización adicional, mostrada en la figura 1A, el perfil de temperatura puede incluir calentar la preforma de acero para herramientas a por encima de AC_3 y después enfriar la preforma de acero para herramientas a una temperatura de procesamiento (marcada con el número 12) entre AC_1 y AC_3 o a una temperatura de procesamiento (marcada con el número 13) entre M_S y AC_1 antes de deformarla.

La temperatura de procesamiento durante la deformación puede incrementar, disminuir o permanecer sustancialmente igual, aunque las figuras 1 y 1A, las temperaturas (por ejemplo, en 10, 11, 12 y 13) a las cuales tiene lugar la deformación se ilustran como líneas horizontales. Aunque una línea horizontal puede representar una condición isotérmica, un experto en la técnica apreciará que se produce alguna variación en la temperatura de procesamiento real. Por ejemplo, la temperatura de procesamiento de la preforma de acero para herramientas puede variar en $\pm 50^\circ\text{F}$ ($\pm 28^\circ\text{C}$) durante la deformación. El control de la temperatura para mantener la región a una condición sustancialmente isotérmica puede incluir la adición o retirada intencional de calor mediante un sistema de control de retroalimentación de temperatura de núcleo cerrado.

Sin embargo, un incremento o disminución de temperatura puede producirse durante la deformación. El incremento o disminución de temperatura puede ser intencional o un resultado de no controlar la temperatura durante la deformación. Por ejemplo, en algunas realizaciones, la temperatura de la preforma puede incrementarse tanto como 150°F (83°C) debido a la velocidad a la cual la energía se añade a la preforma mediante la deformación. La energía adicional es transformada en calor y, si no se compensa mediante disipación o retirada de calor, entonces eleva la temperatura de la región. Por lo tanto, la temperatura de procesamiento puede incrementar o disminuir de tal manera que la temperatura de la región puede iniciarse a una temperatura por encima de AC_1 pero terminar a una temperatura por abajo de AC_1 , o iniciar a una temperatura por abajo de AC_1 , y terminar a una temperatura por encima de AC_1 . En otras realizaciones, la región puede enfriarse intencionalmente para reducir la temperatura de la región mientras se está produciendo la deformación. Sin embargo, cabe notar que si la temperatura de la preforma cambia sustancialmente durante el proceso de deformación, la recristalización dinámica de granos puede reducir la resistencia al impacto y la firmeza de la región. Por lo tanto, un proceso isotérmico, es decir, manteniendo la temperatura de proceso real de la preforma de acero para herramientas sustancialmente constante durante la deformación puede aumentar al máximo la resistencia, la firmeza y otras propiedades mecánicas de la región, como se describe más adelante.

Con referencia continua a las figuras 1 y 1A, aunque una variedad de procedimientos de calentamiento y enfriamiento se pueden utilizar, la temperatura de procesamiento y el tiempo de procesamiento se controlan para evitar una punta de carburo 14 o una punta de bainita 16. Un experto en la técnica apreciará que a temperaturas por debajo de AC_1 , el acero para herramientas puede precipitar carburo o bainita si la región es mantenida demasiado tiempo a temperaturas en estos intervalos. A modo de ejemplo, una preforma de acero para herramientas M2 AISI puede deformarse durante un periodo de al menos 2 minutos sin formación sustancial de fase de carburo o bainita. Sin embargo, la cantidad de tiempo que la preforma puede mantenerse a temperaturas de este intervalo depende al menos de la composición del acero para herramientas y de la temperatura, así como de otros factores.

Después del procesamiento termomecánico, la preforma es enfriada a una temperatura más baja. El enfriamiento o enfriamiento se puede lograr mediante conversión de aire forzado o manteniendo la región a temperaturas intermedias antes de enfriar la preforma a temperatura ambiente. Un experto en la técnica apreciará que el enfriamiento puede incluir otros métodos o medios de enfriamiento, incluyendo, por ejemplo enfriamiento con agua o con aceite. A modo de ejemplo adicional, la región puede someterse a tratamiento criogénico, donde la región es enfriada en una o más etapas a temperaturas de entre aproximadamente -150°F (aproximadamente -101°C) y aproximadamente -300°F (aproximadamente -184°C) para convertir un porcentaje mayor de la austenita o martensita retenida. El tratamiento criogénico se puede lograr con nitrógeno líquido, por ejemplo, y se puede usar principalmente con aceros para herramientas A2 y D2, aunque otros aceros para herramientas que contienen porcentajes sustanciales de austenita retenida pueden beneficiarse de este tipo de tratamiento. La velocidad de enfriamiento es mayor que la velocidad crítica de enfriamiento del acero para herramientas, es decir, la velocidad mínima de enfriamiento continuo para evitar transformaciones no deseables, tales como la punta de carburo 14 y la punta de bainita 16. Por consiguiente, la velocidad de enfriamiento es suficiente para evitar una transformación sustancial de austenita metaestable en productos de descomposición no deseados, tales como carburo o bainita. Velocidades de enfriamiento más rápidas también pueden ser utilizadas, aunque velocidades de enfriamiento más rápidas se limitan a aquellas que no producen choque térmico en la región o distorsionan de otra manera la preforma de acero para herramientas.

Además, en una realización, el enfriamiento es seguido por uno o más procedimientos de templado. Por ejemplo, el templado puede incluir calentar la región a una temperatura entre aproximadamente 850°F (aproximadamente 454°C) y aproximadamente 1000°F (aproximadamente 537°C) durante entre aproximadamente 45 minutos y aproximadamente 60 minutos. El templado modifica la microestructura al convertir la austenita retenida en martensita. Como se conoce en la técnica, se pueden usar ciclos de templado múltiples para convertir la austenita

retenida. Un experto en la técnica entenderá que el templado puede incluir calentar a una temperatura más alta o más baja durante periodos más cortos o más largos dependiendo de la composición del acero para herramientas, la geometría y el tamaño de la preforma, la cantidad de austenita retenida tolerada y el número de tratamientos de templado usados. De acuerdo con una realización, después del enfriamiento, la región no es tratada con calor en o
 5 por encima de AC₃ antes del templado. Además, la región puede no ser calentada por encima de cualquier temperatura que la región experimente durante la deformación. En otras palabras, la preforma puede ser recalentada, sin embargo, la temperatura durante cualquier recalentamiento posterior no reduce sustancialmente o altera la deformación o acumulación por dislocación como resultado de deformar la austenita en la región a temperaturas entre la temperatura austenítica y la temperatura de inicio martensítico.

10 En otra realización, el método además incluye acabar la preforma de acero para herramientas en una herramienta después del procedimiento de deformación termomecánico. El acabado puede incluir un procedimiento de retirada de material para producir una forma predeterminada final y/o acabado de superficie. Por ejemplo, los procedimientos de acabado convencionales pueden incluir mecanizado, esmerilado, lijado/pulimentado, o una combinación de los
 15 mismos para preparar la herramienta para su uso. Sin embargo, el acabado puede requerir solo una pequeña cantidad de retirada de material para formar la preforma en la herramienta. Por ejemplo, la deformación puede incluir un procedimiento de forjado cercano a la forma neta, de tal manera que, después de la deformación, se requiere un procesamiento posterior menor, si lo hay, de la preforma para hacer la herramienta.

20 Uno o más procedimientos secundarios pueden seguir al enfriamiento o acabado de la herramienta. Procedimientos secundarios incluyen la formación de un revestimiento sobre la herramienta o una modificación adicional de la superficie de la herramienta de alguna manera. Los procedimientos secundarios ilustrativos incluyen aspersión térmica o revestimiento de la región deformada de la herramienta o la herramienta entera con material resistente al desgaste. Otros procedimientos secundarios incluyen aplicar un revestimiento sobre la superficie de trabajo de la
 25 herramienta mediante una técnica de revestimiento que incluye, pero no se limita a, deposición de vapor física (PVD), deposición de vapor química (CVD) o revestimientos de baño de sal. Otras técnicas de modificación de la superficie incluyen implantación de iones, técnicas de endurecimiento con láser o plasma, nitruración o carburización, que se pueden usar para modificar una capa de superficie en la superficie de trabajo de la herramienta. Se apreciará que varios procesos secundarios diferentes se pueden usar en cualquier combinación
 30 para modificar adicionalmente la herramienta.

Como se expuso anteriormente, la preforma está compuesta de un acero para herramientas. Los aceros para herramientas representan una clase de aceros a partir de los cuales están hechas las herramientas usadas para
 35 cortar, formar o configurar de otra manera otro material. El acero para herramientas puede presentar endurecimiento con tratamiento con calor o puede templarse para lograr propiedades mecánicas deseadas. Por ejemplo, la preforma se puede fabricar a partir de varias clasificaciones diferentes de aceros para herramientas como materiales de grado de acero para herramientas de trabajo frío, trabajo caliente, de alta velocidad, o grados de acero para herramientas de propiedad. En particular, los aceros para herramientas son sistemas de aleación de hierro-carbón (Fe-C) con un contenido de carbón dentro de un intervalo de aproximadamente del 0,35 % en peso a aproximadamente el 1,50 %
 40 en peso, y en un ejemplo adicional, dentro de un intervalo de aproximadamente el 0,85 % en peso a aproximadamente el 1,30 % en peso, con otros contenidos de carbón contemplados dependiendo de las fases de carburo deseadas, si las hay.

45 El acero para herramientas a menudo contiene adiciones de elementos formadores de carburo, tales como vanadio (V), tungsteno (W), cromo (Cr), molibdeno (Mo) o combinaciones de los mismos. Dependiendo de las adiciones de aleación, una o más fases de carburo, como M₆C, M₂C, M₂₃C₆, M₇C₃ o M₄C se pueden precipitar, aunque otros tipos de carburos de aceros para herramientas no contienen adiciones intencionales de níquel (Ni). El níquel es un estabilizador de fase austenítica conocido. Los aceros para herramientas, sin embargo, pueden contener cantidades de traza (0,3 % en peso máximo) de este elemento.
 50

La tabla 1 muestra la composición nominal en porcentaje en peso de aceros para herramientas ilustrativos (el resto del acero para herramientas siendo hierro (Fe)) que se pueden usar para fabricar una herramienta de acuerdo con realizaciones de la invención. A modo de ejemplo, la AC₃ de los aceros para herramienta en el cuadro 1 cae en el intervalo de entre aproximadamente 2100°F (aproximadamente 1149°C) y aproximadamente 2400°F
 55 (aproximadamente 1316°C), las temperaturas de AC₁ caen en el intervalo de entre aproximadamente 1380°F (aproximadamente 749°C) y aproximadamente 1680°C (aproximadamente 915,6°C), y M_s cae en el intervalo de aproximadamente 320°C (160°C) y aproximadamente 480°F (aproximadamente 249°C).

Tabla 1

AISI	DIN	JIS	UNS	C	Cr	V	W	Mo	Co
A2	1.2363	G4404 SKD12	T30102	1,00	5,00		-	1,00	-
D2	1.2201	G4404 SKD11	T30402	1,50	12,00	1,00	-	1,00	-
H-13	1.2344	G4404 SKD61	T20813	0,35	5,00	1,00	-	1,50	-

AISI	DIN	JIS	UNS	C	Cr	V	W	Mo	Co
M2	1.3341	G4403 SKH1	T11302	0,85~1,00	4,00	2,00	6,00	5,00	-
M4	-	G4403 SKH54	T11304	1,30	4,00	4,00	5,50	4,50	-
S7	-	-	T41907	0,50	3,25	0,25	-	1,50	-
T15	-	G4403 SKH10	T12105	1,57	4,00	5,00	12,25	-	5,00
M42	S-2-10-1-8	G4403 SKH59	T11342	1,08	3,75	1,1	1,5	9,5	8,00

Además, la preforma también comprende un material de metal en polvo o, en particular, un acero para herramientas de metal en polvo. Las preformas de acero para herramientas en polvo se realizan generalmente mediante esmerilado físico o de otra manera haciendo una pieza volumétrica de acero para herramientas en muchas partículas individuales pequeñas, inyectando el metal en polvo en un molde o haciendo pasar el metal en polvo a través de un dado para producir un material compacto débilmente cohesivo y concrecionando el material compacto como se conoce en la técnica. Las herramientas formadas a partir de aceros para herramientas de metal en polvo a menudo se caracterizan como que tienen propiedades isotrópicas como resultado de su método de fabricación. Sin embargo, cuando se procesan de acuerdo con las realizaciones descritas en el presente documento, las propiedades de las herramientas se mejoran en relación con las herramientas de metal en polvo procesadas de acuerdo con los métodos de sinterizado y/o prensado isostático en caliente convencionales.

El procesamiento de un acero para herramientas, como se describe en el presente documento, modifica la microestructura del acero para herramientas. Como se expuso anteriormente, el acero para herramientas se deforma mientras contiene austenita. Como se conoce en la técnica, la austenita tiene una estructura de cristal cúbica centrada en la cara (fcc), y la martensita tiene una estructura de cristal tetragonal centrada en el cuerpo (bct). Debido a su número más alto de planos de deslizamiento, la austenita es considerada por un experto en la técnica como que tiene una ductilidad más alta que la martensita. Cualquier austenita que se forma por encima de AC_3 es generalmente reconocida por los expertos en la técnica como estable. Es decir, a temperaturas por encima de AC_3 , la austenita generalmente no se descompone en otras fases. A temperaturas por debajo de AC_3 , la austenita se sabe que es inestable y a menudo se denomina metaestable ya que se descompone a otras fases y se mantiene durante periodos prolongados a temperaturas entre AC_3 y M_s . La austenita presente en los intervalos de temperatura descritos en el presente es metaestable. Aunque no se desea estar limitada por la teoría, la austenita metaestable, a pesar de tener la misma estructura cristalina que la austenita, se cree que retiene historia de deformación.

La deformación plástica de la preforma que contiene austenita metaestable da por resultado una microestructura que es diferente de la que se enfría bruscamente entre estas temperaturas sola o forjando la preforma a temperaturas por encima de AC_3 y después enfriarla bruscamente. La microestructura resultante y las propiedades del material de la región deformada pueden depender del tipo de acero para herramientas, el tipo de procesamiento termomecánico, la cantidad de deformación inducida en la austenita, la velocidad a la cual fue inducida la deformación y la temperatura a la cual se realizó el procesamiento termomecánico. Por ejemplo, el procesamiento termomecánico de austenita metaestable a temperaturas entre M_s y AC_1 puede producir una microestructura que es diferente del procesamiento termomecánico de austenita metaestable a temperaturas entre AC_1 y AC_3 . Sin embargo, en cualquier caso, la región deformada presenta propiedades mecánicas mejoradas.

Como resultado de deformar la austenita en estos intervalos de temperaturas, en una realización, la microestructura tiene grano fino. Por ejemplo, el tamaño promedio de los granos o cristales en la región deformada puede ser al menos un 10 % y en un ejemplo adicional puede ser al menos un 25 % menor que los observados en herramientas hechas con procedimientos convencionales. En algunas realizaciones, la microestructura de grano fino facilita una precipitación uniforme de fases de carburo a lo largo de los más numerosos límites de grano durante el enfriamiento u otro proceso.

Además, otra característica microestructural puede incluir un incremento en la densidad de dislocación. Como se conoce en la técnica, las dislocaciones son defectos lineales en un sólido cristalino, tal como en austenita. Una dislocación ilustrativa está formada por un medio plano extra de átomos dentro de un cristal, aunque otros tipos de dislocaciones son conocidos y muchos tipos de dislocaciones se sabe que se forman simultáneamente en un solo cristal. Además, la colindancia de grano puede representarse por una o más dislocaciones. En materiales policristalinos, como el material de acero para herramientas de la preforma, las colindancias de grano existen entre cristales adyacentes con regiones de desajuste entre la red cristalina de un grano y la red cristalina de un grano adyacente. A medida que el grado de desajuste o el ángulo de desorientación entre los granos adyacentes se incrementan de cero grados, donde la estructura de cristal de granos adyacentes se alinea, la densidad de dislocaciones en las colindancias de grano se incrementa. La medición del ángulo de desorientación entre granos, por lo tanto, es una medición de la densidad de dislocación, particularmente la densidad de dislocación en las colindancias de los granos. La deformación de la región de la preforma de acero para herramientas incrementa el ángulo de desorientación entre los granos a un grado mayor que la deformación de una región de composición similar mediante forjado en caliente por encima de AC_3 o tratamiento con calor de acuerdo con métodos convencionales. Los granos martensíticos después de la deformación, del enfriamiento y del templado pueden ser

- desorientados a un ángulo promedio, por ejemplo, de más de aproximadamente 34°, y en un ejemplo adicional los granos martensíticos están en promedio desorientados al menos en aproximadamente 40°. Además, en una realización, la densidad de dislocaciones de la región es al menos un 25 % mayor que las partes forjadas en caliente o tratadas con calor de procesos de convención. La densidad de dislocación y el tamaño del grano se pueden medir usando difracción de retrodispersión de electrones (EBSD) o técnicas de difracción de rayos X (XRD). Además de mejorar la resistencia al impacto de la región deformada, las ubicaciones de la densidad de dislocación alta pueden producir puntos de nucleación para la precipitación de fases de carburo durante la deformación o en una operación de calentamiento o enfriamiento posterior.
- La región deformada también puede presentar una orientación preferida de estructura de grano. En particular, en una vista en sección transversal de la región deformada, los granos pueden ser alargados o tienen otra forma, tal como cuando están dispuestos u orientados entre sí. Los granos colectivamente proporcionan un flujo preferencial o direccionalmente a la microestructura. La dirección de orientación preferida puede ser en una dirección respecto a una de las superficies de la herramienta, respecto a un eje de la herramienta, o respecto a otra región que también tiene una orientación preferida. En esencia, la orientación preferida puede ser en cualquier orientación. En una realización, la orientación preferida de los granos en la región deformada sigue el contorno de superficie de una superficie de trabajo de la herramienta. Por ejemplo, la orientación preferida puede seguir el contorno de superficie formado por dos superficies de intersección que definen un borde. La estructura de grano puede ser sustancialmente paralela a cada superficie mientras realiza una transición desde una primera dirección, que es paralela a una superficie, o a una segunda dirección, que es paralela a la segunda superficie, en un área próxima al borde. La forma inicial de la preforma, cualquier banda de carburo o aleación presente en la preforma antes del procesamiento, y la técnica de procesamiento pueden ser los factores principales para determinar la orientación preferida de los granos en la región deformada.
- Por consiguiente, en una realización, la región deformada se caracteriza por una combinación de dos o más de las características microestructurales anteriores. Por ejemplo, la región deformada puede tener una distribución de tamaño de grano con un tamaño de grano promedio pequeño, y los granos pueden estar preferentemente orientados en relación con una superficie de trabajo de la herramienta o con un eje de la herramienta. Además, las regiones se pueden caracterizar como que tienen una densidad de dislocación relativamente alta. En una realización, la región puede estar caracterizada además por tener una fase de carburo más uniformemente distribuida, más fina o fases ubicadas en las colindancias de grano y en ubicaciones de densidad de dislocación alta. Además, las características pueden no variar significativamente de un lugar a otro dentro de la región deformada, aunque puede existir una variación significativa entre dos o más regiones formadas por separado. Por ejemplo, porciones de la preforma pueden tener regiones de densidad de dislocación relativamente alta separadas por una región de densidad de dislocación relativamente baja. Las variaciones de densidad de dislocación entre las regiones se pueden deber a diferentes procedimientos usados (por ejemplo, forjado radial en comparación con forjado de deformación plana), velocidades de forjado o intensidades diferentes, temperaturas diferentes, etc.
- Sin estar limitado por la teoría, los inventores creen que la energía externa del procesamiento termomecánico se puede usar para formar una estructura de grano fino, proporcionar una orientación a la estructura de grano, incrementar la densidad de dislocación o producir una combinación de las mismas dentro de la fase austenita metaestable. Después del enfriamiento brusco, la austenita metaestable deformada afecta beneficiosamente a la misma estructura que finalmente se forma. Además, la energía externa del procesamiento termomecánico puede facilitar la precipitación de fases de carburo en la microestructura. Por ejemplo, el procesamiento termomecánico a temperaturas menores que AC_1 se cree que reduce la solubilidad del carbono en austenita metaestable y, por lo tanto, promueve la precipitación de carburo. En una realización relacionada, las fases de carburo pueden precipitarse en las colindancias del grano y/o sitios de dislocación durante la deformación o durante el enfriamiento o durante la deformación y el enfriamiento. Por consiguiente, las preformas de acero para herramientas procesadas por debajo de AC_1 presentan resistencias mayores, entre otras propiedades mejoradas en comparación con preformas de acero para herramientas procesadas por encima de AC_1 . Además, el incremento en densidad de dislocación en este intervalo de temperatura se cree que es sustancialmente mayor en comparación con preformas termomecánicamente procesadas a temperaturas mayores que AC_1 .
- Como se expuso anteriormente, la región deformada de la preforma se caracteriza por propiedades mejoradas en comparación con procesos convencionales (por ejemplo, tratamiento con calor y/o forjado por encima de AC_3). Por lo tanto, una herramienta hecha a partir de la preforma de acero para herramientas, por ejemplo, puede presentar una vida útil más larga. Las propiedades mejoradas pueden incluir mejoras en una o más de la resistencia al impacto (por ejemplo, de acuerdo con la prueba de Charpy), firmeza, dureza o resistencia al desgaste o una combinación de las mismas. A modo de comparación, la resistencia al impacto de la región deformada de la preforma de acero para herramientas M2 AISI procesada de acuerdo con una realización de la presente invención puede ser al menos un 50 % mayor que herramientas de similar composición que son deformadas por encima de AC_3 o tratadas con calor sin forjar. En cualquier realización, la vida de la herramienta más larga puede ser atribuida a una resistencia incrementada al impacto, una resistencia a otros esfuerzos o una resistencia a condiciones abrasivas que son experimentadas durante el uso.

Con referencia a las figuras 2A y 2B y de acuerdo con otra realización de la invención, una herramienta 18 incluye un elemento 20 que tiene una superficie exterior 22 que generalmente incluye una primera porción 24 que ha de conectarse o acoplarse a una máquina (no mostrada) y una segunda porción en la forma representativa de una superficie de trabajo 26 que hace contacto con una pieza de trabajo 28 cuando la herramienta 18 se usa en aplicaciones de formación de metal y corte de metal. Además, la superficie exterior 22 encierra y define una colindancia exterior de un volumen de cuerpo o masa de acero para herramientas. Como se muestra mejor en la figura 2B, al menos se forma una región 30, como se describe en el presente documento, dentro del volumen del cuerpo encerrado. Y cuando la región 30 no está constituida por el volumen entero de la herramienta 18, el elemento 20 puede tener otra región 32 que difiere en una o más de las características microestructurales y, por lo tanto, difiere en las propiedades descritas anteriormente en comparación con la región 30.

En una realización, con referencia una vez más a la figura 2A, el elemento 20 es alargado y la superficie exterior 22 define un cilindro o vástago 34, una cabeza 36 dispuesta en un extremo del vástago 34 y una punta o cuerpo 38 con una punta de extremo 40 dispuesta en un extremo opuesto del vástago 34 desde la cabeza 36. La superficie de trabajo 26 llevada sobre la punta 40 se une a la pared lateral 42 y la punta de extremo 40 a lo largo de un borde de corte 44. El borde de corte 44 define una esquina a lo largo de la cual la pared lateral 42 y superficie de trabajo 26 convergen. El borde de corte 44 y la superficie de trabajo 26 colectivamente definen la porción de la herramienta 18 que hace contacto con la superficie de la pieza de trabajo 28. La pieza de trabajo 28 puede comprender un material que ha de procesarse mediante la herramienta 18 en una aplicación de formación de metal o corte de metal.

Cuando se ve a lo largo de un eje longitudinal o línea central 50 de la herramienta 18, el vástago 34 y el cuerpo 38 del elemento alargado 20 tienen un perfil en sección transversal adecuado, tal como, por ejemplo, un perfil en sección transversal redonda, rectangular, cuadrado u ovalado. El vástago 34 y el cuerpo 38 pueden tener perfiles en sección transversal de áreas idénticas o el cuerpo 38 puede tener un área en sección transversal más pequeña para proporcionar una región de alivio 52 entre el vástago 34 y el cuerpo 38. En ciertas realizaciones, el vástago 34 y el cuerpo 38 están simétricamente dispuestos alrededor de una línea central 50 y, en particular, pueden tener un perfil en sección transversal circular o redondo centrado en la línea central 50.

La cabeza 36 de la herramienta 18 tiene una construcción apropiada para retenerse con el dispositivo de contención de herramienta usado con una máquina de trabajo de metal, tal como una máquina para herramientas o una prensa (no mostrada). En la realización ilustrativa, la cabeza 36 es una brida que tiene un diámetro mayor que el diámetro del vástago 34. En lugar de la cabeza 36, sin embargo, la herramienta 18 puede incluir alternativamente un seguro de bola, un seguro de cuña, una torreta u otro tipo de estructura de retención para acoplar el vástago 34 de la herramienta 18 con un dispositivo de retención de herramienta.

La herramienta 18, que tiene la construcción de un troquel en la realización representativa, típicamente forma un componente de un conjunto de matrices 54. El conjunto de matrices 54 también incluye una matriz 56 que contiene una abertura 58 que recibe o forma un componente del conjunto que recibe una porción de la punta 40 de la herramienta 18. La matriz 56 y la herramienta 18 cooperan, cuando se prensan juntas, para formar un orificio configurado en una pieza de trabajo 28 o para deformar la pieza de trabajo 28 de alguna manera deseada. La herramienta 18 y la matriz 56 se pueden retirar de la máquina de trabajo de metal con la herramienta 18, que se une temporalmente al usar un mecanismo de retención de herramientas al extremo de una corredera (no mostrada).

La herramienta 18 se mueve generalmente en una dirección 61 hacia la pieza de trabajo 28 y con una carga normal al punto de contacto entre la superficie de trabajo 26 y la pieza de trabajo 28. La máquina de trabajo de metal puede ser accionada mecánicamente, hidráulicamente, neumáticamente o eléctricamente para aplicar una carga que fuerza la herramienta 18 hacia la pieza de trabajo 28. La punta de extremo 40 de la herramienta 18 es forzada bajo una alta carga impartida por la máquina de trabajo de metal a través de, o dentro del, espesor de la pieza de trabajo 28 y dentro de la altura de la matriz 58. La pieza de trabajo 28 se deforma y/o se corta en y alrededor de una zona de contacto entre la superficie de trabajo 26 de la herramienta 18 y la pieza de trabajo 28.

La herramienta 18 puede tener otras construcciones del troquel que difieren de la construcción de la realización representativa. Como ejemplos, la herramienta 18 puede estar configurada como una cuchilla, un troquel de talón, un troquel de pedestal, un troquel redondo, etc. Aunque la herramienta 18 se ilustra como que tiene una construcción consistente con un troquel en una realización representativa, un experto en la técnica entenderá que la herramienta 18 puede tener otras construcciones, tales como una matriz, como la matriz 56 (figuras 2A y 2B) o un separador. En particular, la herramienta 18 en forma de troquel, matriz o separador se puede aplicar en operaciones de estampado y formación de metal como punción y perforación, preformación fina, formación y extrusiones o acuñado.

La herramienta 18 también puede tener la construcción de una herramienta de corte tal como un punzón giratorio, un punzón no giratorio, una tapa, un escariador, una broca, un cortador de fresadora, una herramienta de corte, etc. La herramienta 18 se puede usar en aplicaciones de colado y moldeo tales como colado con matriz convencional, colado con matriz de alta presión y moldeo por inyección. La herramienta 18 también se puede utilizar en aplicaciones de compactación de polvo usadas en procedimientos farmacéuticos, procedimientos nutraceuticos,

fabricación de baterías, cosméticos, confitería e industrias de alimentos y bebidas, y en la fabricación de productos para el hogar y combustibles nucleares, formación de tabletas, explosivos, municiones, cerámicas y otros productos. La herramienta 18 también se puede usar en aplicaciones de automatización y de accesorios para partes, tales como detalles de localización o contacto de partes.

5 Con referencia a la figura 2B, la región 30 de la herramienta 18, una región 62 de la matriz 56 o la región 30 de la herramienta 18 y la región 62 de la matriz 56 se forman o mecanizan a partir de una región de una preforma (no mostrada) que ha sido termomecánicamente procesada, como se expuso anteriormente. Por ejemplo, la región 30 a menudo está ubicada próxima o incluye la superficie de trabajo 26, de tal manera que la región 30 está cerca o en contacto directo con la pieza de trabajo 28 durante la operación de la herramienta 18. De manera similar, la región 62 de la matriz 56 está cerca o en contacto directo con la pieza de trabajo 28 cuando se usan la herramienta 18 y la matriz 56. La región 30 se extiende desde la superficie exterior 22, por ejemplo, la superficie de trabajo 26, a una profundidad, d_1 , mayor de 0,039 pulgadas (1 mm). De manera similar, en la matriz 56, la región 62 puede estar configurada irregularmente, pero también se extiende desde una superficie exterior 63 a una profundidad, d_2 , mayor de 0,039 pulgadas (1 mm).

20 Sin embargo, el rendimiento beneficioso se puede observar cuando la región 30 o 62 se forma en otras ubicaciones dentro de la preforma de acero para herramientas. Estas ubicaciones se pueden determinar mediante factores incidentes a la operación en la cual la herramienta 18 se usa o las consideraciones de coste usadas para equilibrar el uso de la herramienta 18 respecto al coste de su fabricación. En cualquier aspecto, la región termomecánicamente procesada 30 se caracteriza por una densidad de dislocación alta, una estructura de grano fino, una orientación preferida de los granos o una combinación de los mismos, como se proporcionó anteriormente. En una realización, la densidad de dislocación alta, la estructura de grano fino, la orientación preferida de los granos o una combinación de los mismos se puede relacionar con la dirección de procesamiento termomecánico.

25 La herramienta 18 puede tener múltiples regiones de densidad de dislocación alta, una estructura de grano fina, una orientación preferida de los granos, o una combinación de los mismos. En realizaciones con dos o más regiones, cada región puede ser adyacente a la siguiente dentro de la preforma de acero para herramientas. Se apreciará que la orientación de los granos en una región puede estar sustancialmente alineada o no con cualquiera de las otras regiones o con el eje de la herramienta 18. En otra realización adicional, la región de densidad de dislocación alta, estructura de grano fino u orientación preferida de los granos o una combinación de los mismos, se extiende sustancialmente a lo largo de la herramienta 18, más que estar confinados a una o más porciones de la misma. En otras palabras, la herramienta 18 puede mecanizarse o formarse a partir de una preforma de acero para herramientas que se ha procesado termomecánicamente previamente de acuerdo con las realizaciones en el presente documento.

30 Con referencia a las figuras 3A y 3B, aunque las realizaciones de la invención se describen e ilustran aquí con referencia a preformas compuestas sustancialmente en forma completa de acero para herramientas, en otras realizaciones, una preforma 64 puede ser en la configuración de una carcasa 66 hecha de acero para herramientas que tiene un núcleo 68 hecho de un acero diferente. Como se muestra en las figuras 3A, el núcleo 68 puede llenar el hueco entero dentro de la carcasa 66 o solo una porción del mismo, dependiendo de la aplicación para la herramienta (no mostrada) hecha a partir del mismo, entre otras variables. Aunque el volumen del acero para herramientas en la carcasa 56 puede ser pequeño, cuando se compara con el volumen del acero diferente, la carcasa 66 es mayor de 0,039 pulgadas (1 mm) de espesor, de tal manera que la región deformada es al menos de 45 0,039 pulgadas (1 mm) de espesor. La carcasa 66 está diseñada para formar la superficie de trabajo 26 de la herramienta (véase la figura 1A). El núcleo 68 puede formar el resto de la herramienta y puede estar diseñado para proporcionar una propiedad mecánica complementaria a la herramienta. A modo de ejemplo únicamente, la carcasa 66 puede ser un tubo de acero para herramientas, como se muestra en la figura 3A. El núcleo 68 puede ser un cilindro de otro acero, tal como un acero con bajo contenido de carbón o acero de trabajo en frío, como D2, que es más económico. Después de la inserción del núcleo del cilindro 68 en la carcasa tubular 66, la preforma 64 se calienta y al menos la carcasa 66 se deforma mediante estampado o forjado radial en los intervalos de temperatura descritos anteriormente. Una preforma deformada 69 después de, por ejemplo, el forjado radial de la carcasa 66 se muestra en la figura 3B. La herramienta formada a partir de preforma deformada o forjada 69 se puede utilizar en aplicaciones donde, por ejemplo, es necesaria la resistencia transversal, que puede incluir engranajes (como se muestra en la figura 3C) o matrices de laminado con engranajes o laminado con roscas, para mejorar la vida de servicio de la herramienta, aunque los costes del material de la herramienta sean significativamente reducidos.

Detalles adicionales de la invención se describirán con referencia a los siguientes ejemplos.

60 **Ejemplo 1**

Ocho preformas de acero para herramientas en la configuración de barras laminadas que tienen un diámetro de 1,500 pulgadas (3,81 cm) y una longitud de 48 pulgadas (121,9 cm) y que son conocidas en la técnica por las designaciones AISI M2, D2 y M4 se prepararon de acuerdo con una realización del método descrito en el presente documento.

Para ese fin, las barras se calentaron por encima de AC₁ a una temperatura de 2100°F (1149°C) en un horno accionado por gas. Las mediciones de temperatura se registraron usando un pirómetro de infrarrojos calibrado en el intervalo de operación. Se cree que a esta temperatura la microestructura en cada una de las barras está compuesta de austenita. Una vez que las barras alcanzaron la temperatura objetivo, fueron transferidas individualmente (para evitar pérdida de temperatura durante la transferencia de la parte) a los rodillos de entrada de una máquina de forjado radial 4-Hammer de 200 toneladas. Las barras de diámetro de 1,500 pulgadas (3,81 cm) por 48 pulgadas (121,9 cm) de longitud fueron forjadas cada una radialmente en una barra que tenía un diámetro de 0,875 pulgadas (2,222 cm) con cuatro reducciones. Cada reducción tomó entre aproximadamente 15 a aproximadamente segundos (un total de un máximo de 80 segundos por barra). La relación de reducción efectiva calculada fue del 66 %. Las barras procesadas fueron enfriadas con aire por convección forzada a temperatura ambiente.

Durante el procesamiento termomecánico, se sabe que el metal caliente perderá calor debido a pérdidas por convección y radiación. Por lo tanto, para mantener la temperatura de cada barra dentro de un estrecho intervalo de temperaturas cerca de la temperatura objetivo de 2100°F (1149°C), se usó el calor externo y el calor interno de los procesos de deformación para compensar cualquier pérdida de calor. Por lo tanto, el forjado se realizó en una condición casi isotérmica. Además, la temperatura se monitorizó para asegurar que cualquier cambio de temperatura fuera insignificante.

Se cortaron pequeñas secciones de cada barra durante reducciones intermedias para análisis. Ninguna de las muestras se observó que presentara ninguna recristalización. Además, se determinaron las fases presentes en cada muestra, se midió la desorientación entre los granos y una dirección transversal (TD) y una dirección radial (RD). Las mediciones se tomaron en un lugar que era la mitad del radio de la sección transversal de la barra o a aproximadamente 0,22 pulgadas (0,5588 cm) desde el centro de una barra de acero inoxidable M2 después de la deformación y templado posterior. La identificación de fase se hizo en un difractor de rayos X Philips X'Pert. El análisis de fase de una barra de M2 del ejemplo 1 se muestra en la figura 4A. En la figura 4A, la fracción de número de cada fase fue de 0,771473 hierro-martensita, 0,00419837 carburo de vanadio-cromo (658741), 0,219877 carburo de tungsteno-hierro (892579), 0,00445168 V₄C₃. Se realizaron escaneos de EBSD en un microscopio electrónico de barrido de ambiente de emisión de campo (ESEM) - FEI/Philips XL30 ESEM-FEG con detector de EBSD. Los datos se recogieron y mapearon con datos de XRD usando software de recopilación de datos Orientation Imaging Microscopy™ (OIM™). Una distribución representativa de ángulos de desorientación medidos para granos martensíticos para una de las barras de acero para herramientas M2 del ejemplo 1 se muestra en la figura 4B. La figura de polos desarrollada para esta barra M2 se muestra en la figura 4C.

Ejemplo 2

Algunas de las barras de 0,875 pulgadas (2,222 cm) de diámetro del ejemplo 1 se recalentaron por encima de AC₁, a una temperatura de 2100°F (1149°C). Después de que las barras se calentaron por encima de AC₁, se creía que la microestructura estaba compuesta de austenita. Una vez que las barras alcanzaron la temperatura objetivo, fueron transferidas individualmente a los rodillos de entrada de una máquina de forjado radial 4-Hammer de 200 toneladas. Cada barra fue forjada radialmente mientras estaba a una temperatura de 2100°F (1149°C). En cuatro reducciones, el diámetro de la barra se redujo de 0,875 pulgadas (2,222 cm) a 0,640 pulgadas (1,626 cm). Esta reducción en área de sección transversal alcanzó una relación de reducción efectiva del 47 %, además de la reducción del 66 % de las primeras cuatro reducciones del ejemplo 1. Las barras procesadas fueron enfriadas con aire de convección forzada a temperatura ambiente. Varias muestras se cortaron de una barra a reducciones intermedias para registrar la influencia de la deformación. Igual que las muestras del ejemplo 1, no se observó recristalización en ninguna de las muestras.

Como antes, la pérdida de calor al ambiente y el calor generado por la deformación se equilibraron en un intento para mantener las barras a una temperatura constante durante el procesamiento termomecánico. La temperatura se monitorizó durante el procesamiento y entre las reducciones para asegurar que el cambio de temperatura fuera insignificante. Por lo tanto, se cree que toda la energía externa fue transferida a la preforma para incrementar la densidad de dislocación y reducir el tamaño del grano austenítico.

Después se alivió el esfuerzo de las barras a 1400°F (760°C) durante cuatro horas en un horno accionado por gas y exitosamente procesado a través de un enderezador de barras para reducir al mínimo la distorsión.

Ejemplo 3

Se prepararon preformas de acero para herramientas en la configuración de barras tal como son laminadas que tienen un diámetro de 1,500 pulgadas (3,81 cm) y una longitud de 48 pulgadas (121,9 cm) y que son conocidas en la técnica por las designaciones AIS1 M2, D2 y M4.

Las barras se calentaron a una temperatura de 2050°F (1121°C) en un horno accionado por gas. La microestructura de las barras se cree que está compuesta de austenita metaestable. Como antes, las mediciones de temperatura se registraron usando un pirómetro de infrarrojo calibrado en el intervalo de operación. Una vez que las barras

alcanzaron la temperatura objetivo, cada una de las barras fue sacada del horno y colocada sobre rodillos de entrada de la máquina de forjado radial 4-Hammer de 200 toneladas. Las barras después se dejaron enfriar a una temperatura de procesamiento de entre aproximadamente 1100°F (aproximadamente 593°C) y aproximadamente 1200°F (aproximadamente 649°C) (por debajo de AC₁). La caída de temperatura ocurrió en aproximadamente 1 minuto. Las barras fueron radialmente forjadas a un diámetro de 1,000 pulgadas (2,54 cm) en siete reducciones. La relación de reducción calculada fue del 56 %. Las barras con 1,000 pulgadas (2,54 cm) de diámetro fueron enfriadas con aire de convección forzada a temperatura ambiente.

Similar al control de temperatura descrito en los ejemplos 1 y 2, las barras se mantuvieron a una temperatura tan constante como fuera posible. La temperatura de cada una de las barras fue monitorizada durante el procesamiento y entre las reducciones para asegurar que el cambio de temperatura fuera insignificante.

Se cortaron pequeñas secciones de cada barra durante reducciones intermedias para análisis. Ninguna de las muestras presentó una característica de microestructura de recristalización dinámica. Las fases se determinaron, se tomaron las mediciones de la desorientación entre los granos, y una figura de polos se desarrolló para el plano [001] de martensita en un lugar que era la mitad del radio de la sección transversal de la barra o a aproximadamente 0,25 pulgadas (0,635 cm) desde el centro de la barra. El análisis de fase de una barra de M2 del ejemplo 3 se muestra en la figura 5A. La fracción del número de las fases en la figura 5A fue 0,737644 hierro-martensita, 0,0111572 carburo de vanadio-cromo (658741), 0,240541 carburo de tungsteno-hierro (892579), y 0,0106579 V₄C₃. Una distribución representativa de ángulos de desorientación entre los granos martensíticos para una de las barras de acero para herramientas M2 del ejemplo 3 se muestra en la figura 5B. La figura de polos desarrollada para esta barra M2 se muestra en la figura 5C.

Ejemplo comparativo 1

Un material de abastecimiento de barra tal como es laminada AISI M2 se trató con calor en un horno de vacío de 2 barras usando ciclos estándares de tratamiento de calentamiento calentando la barra por encima de aproximadamente 2250°F (aproximadamente 1232°C) seguido por tres ciclos de templado estándar de calentamiento a aproximadamente 1000°F (aproximadamente 537,7°C) y manteniendo durante aproximadamente 45 minutos a 1 hora y enfriando para lograr la misma dureza que los ejemplos 1 y 3, es decir, HRC 61-63. La barra tratada con calor después se esmeriló a las mismas dimensiones externas que las barras del ejemplo 3.

Las mediciones de las fases, el ángulo de desorientación y la figura de polos para la barra comparativa se muestran en las figuras 6A, 6B y 6C. La fracción del número de las fases indicadas en la figura 6A fue de 0,660257 hierro-martensita, 0,00451285 carburo de vanadio-cromo (658741), 0,330886 carburo de tungsteno-hierro (892579) y 0,00434446 V₄C₃. Las fases presentes en cada una de las barras fueron sustancialmente las mismas como se proporcionan mediante un análisis comparativo de las figuras 4A, 5A y 6A.

Sin embargo, la densidad de dislocación de cada una de las barras de los ejemplos 1 y 3 es sustancialmente más alta que la barra del ejemplo comparativo 1. De manera específica, al comparar las figuras 4B y 5B con la figura 6B, los ángulos de desorientación de cada una de las barras M2 de los ejemplos 1 y 3 son significativamente más altos que la barra M2 comparativa mostrada en la figura 6B. El promedio de la distribución de ángulos de desorientación para la barra del ejemplo 1 (figura 4B) fue de aproximadamente 36 grados, el promedio de la distribución de ángulos de desorientación para la barra del ejemplo 3 (figura 5B) fue de aproximadamente 42 grados, y el promedio de la distribución de ángulos de desorientación de la barra del Ejemplo Comparativo 1 (figura 6B) era de aproximadamente 34 grados. Los ángulos de desorientación promedio altos en las barras de acero para herramientas M2 de los ejemplos 1 y 3 en relación con la barra M2 comparativa tratada con calor indica una densidad de dislocación y deformación más altas. Se cree que la deformación a una temperatura menor que AC₁ puede permitir que los granos tengan menos energía térmica y se recuperen de la deformación a una velocidad más lenta.

La densidad de dislocación mejorada para las barras M2 de los ejemplos 1 y 3 está también sustanciada por las figuras de polos mostradas en las figuras 4C y 5C, respectivamente, cuando se comparan con la figura de polos de la barra M2 del ejemplo comparativo 1, como se muestra en la figura 6C. Las figuras de polos indican que la densidad de dislocaciones o número de dislocaciones para las barras de los ejemplos 1 y 3 son significativamente más altas que la densidad de dislocación para la barra del ejemplo comparativo 1 que se trató con calor únicamente. La densidad de dislocación relativa se indica por la densidad de puntos en cada una de las gráficas. Por lo tanto, el ejemplo 1 (figura 4C) tiene el número más alto de dislocaciones seguido por el ejemplo 3 (figura 5C) con el ejemplo comparativo 1 (figura 6C) que tiene el menor número de dislocaciones.

Ejemplo 4

Algunas de las barras de 1,000 pulgadas (2,54 cm) de diámetro del procedimiento del Ejemplo 3 se recalentaron a 2050°F (1121°C) (por encima de AC₁ pero por debajo de AC₃). Las barras fueron retiradas del horno y se dejaron enfriar con aire a una temperatura de procesamiento de entre aproximadamente 1100°F (aproximadamente 593°C) y

aproximadamente 1200°F (aproximadamente 649°C). Una vez que se alcanzó la temperatura de procesamiento, las barras fueron cada una forjada dentro de una barra que tenía un diámetro de 0,700 pulgadas (1,778 cm) en siete reducciones. La relación de reducción calculada fue del 51 %.

5 Las barras procesadas se dejaron enfriar con aire a temperatura ambiente. Varias muestras se cortaron de cada barra a reducciones intermedias. Igual que con las muestras del ejemplo 3, ninguna de las muestras presentó una característica de microestructura de recristalización dinámica.

10 Como antes, la temperatura fue monitorizada durante el procesamiento y entre las reducciones para asegurar que el cambio de temperatura fuera insignificante.

15 Las barras fueron templadas después tres veces entre aproximadamente 950°F (aproximadamente 510°C) y aproximadamente 1000°F (aproximadamente 538°C) durante aproximadamente 3 horas en un horno de vacío. Se confirmó que el procedimiento de templado convirtió cualquier austenita retenida en martensita. Se observó que en los ejemplos 1-4 anteriores, las barras procesadas contenían granos que fueron alargados y preferentemente orientados a lo largo del eje longitudinal de las barras.

20 Aunque los ejemplos 1 a 4 utilizan forjado radial, otras técnicas de forjado que son conocidas en la técnica se puede usar para procesar termomecánicamente la preforma, como se expuso anteriormente. Por consiguiente, en los ejemplos que siguen, un procedimiento de forjado de deformación casi plana fue replicado en una máquina de recalado en caliente horizontal. Se desarrolló una preforma 65 que daría por resultado barras cilíndricas al ser forjada con esta máquina (véase las figuras 7 y 8A y 6B). Las barras cilíndricas entonces se podrían usar como preformas para mecanizar o formar herramientas cortadoras de metal y formadoras de metal.

25 Con referencia a las figuras 7, 8A y 8B, en el procedimiento de forjado de deformación casi plana, la geometría de la preforma 65 compuesta completamente de acero para herramientas incluye una sección de forma oblonga 70 y una sección cilíndrica 72. La sección cilíndrica 72 no sufre ninguna deformación y se usa principalmente para ubicar y retener la preforma 65 en la máquina durante el forjado. La sección o región de forma oblonga 70 es calentada y sufre deformación durante el procesamiento, por lo que una herramienta se puede formar a partir de la misma.
30 Después de la deformación, una preforma deformada 75 tiene una sección o región oblonga deformada 73, como se muestra mejor en la figura 8B.

35 Con referencia ahora a la figura 9, en el procedimiento de forjado de deformación casi plana, la cavidad de la herramienta 74 y la corredera 76 fueron diseñadas para detener el movimiento del acero para herramientas en la sección de forma oblonga 70 en una dirección mientras se deja que el acero para herramientas fluya tanto en dirección radial como circunferencial.

Ejemplo 5

40 Preformas de acero para herramientas AISI M2 de la geometría ilustrada en las figuras 7 y 8A fueron mecanizadas a partir de material de abastecimiento de barra de molino tal como es laminada. La dirección de laminación o la dirección de carburo primaria en un material de abastecimiento de barra de molino convencional fue siempre concéntrica al eje de la sección cilíndrica, como se indica mediante la flecha en la figura 4. La dirección de banda de carburo antes del procesamiento puede determinar la orientación de carburos después del procesamiento termomecánico. Posteriormente, las preformas fueron inicialmente templadas a 1400°F (760°C) entre 45 minutos y 45 60 minutos en un horno de vacío para aliviar cualesquiera esfuerzos residuales y para obtener una estructura de grano casi equiaxial.

50 Después del templado, la sección de forma oblonga de cada preforma se calentó por encima de AC₁ a una temperatura de aproximadamente 1850°F (aproximadamente 1010°C) usando una bobina de inducción. A esta temperatura de procesamiento, la microestructura se creía que estaba compuesta de austenita. La temperatura se monitorizó usando un pirómetro infrarrojo integrado en la máquina de recalado horizontal de 50 toneladas usada para simular la operación de forjado de deformación casi plana. Una vez que la sección de forma oblonga de la preforma alcanzó 1850°F (1010°C), cada preforma fue individualmente forjada en una sección transversal casi 55 semicircular (véase, por ejemplo, figura 8B).

60 Después del forjado, cada barra fue enfriada bruscamente a temperatura ambiente mediante enfriamiento con aire de convección. La microestructura después del forjado estaba compuesta de austenita de grano fino. Después del enfriamiento, la austenita fue transformada en martensita y se precipitaron carburos. Esta microestructura se consideró inestable y su esfuerzo se alivió en un horno de vacío a una temperatura entre aproximadamente 950°F (aproximadamente 510°C) y aproximadamente 1000°F (aproximadamente 538°C) y a una presión de aproximadamente 2 bar. Después de aliviar el esfuerzo, las preformas fueron procesadas a través de ciclos de templado para convertir la austenita retenida a martensita entre aproximadamente 1200°F (649°C) y 1400°F (760°C) 65 durante 45 a 60 minutos por ciclo seguido por un enfriamiento en horno para convertir la austenita retenida en la microestructura a martensita.

La ganancia de resistencia al impacto del forjado de deformación casi plana fue atribuida al incremento en densidad de dislocación y disminución en el tamaño de grano autensítico. Sin embargo, a diferencia del procedimiento de forjado radial, en el forjado de deformación casi plana, la pérdida de calor al ambiente es insignificante, ya que la deformación ocurre casi instantáneamente a lo largo de la longitud completa de la sección de forma oblonga.

5

Ejemplo 6

10 Preformas de acero para herramientas AISI M2 de la geometría ilustrada en la figura 8A fueron mecanizadas a partir de material de abastecimiento de barra de molino tal como es laminada y después fueron procesadas. Igual que con las preformas anteriores, la dirección de laminado de carburo antes del procesamiento fue orientada en la dirección convencional (véase la figura 7). Antes del calentamiento y de la deformación, las preformas fueron templadas en un horno de vacío a 1400°F (760°C) entre 45 minutos y 60 minutos para aliviar cualesquiera esfuerzos residuales en la preforma y para obtener una estructura de grano casi equiaxial.

15 Cada una de las preformas se calentó a una temperatura de 2050°F (1121°C) usando una bobina de inducción. Esta temperatura fue por encima de AC₁, pero por debajo de AC₃. La temperatura se monitorizó usando un pirómetro infrarrojo. Tanto la bobina como el pirómetro se integraron en la máquina de recalcado horizontal ACMA de 50 toneladas. La microestructura a temperaturas entre AC₁ y AC₃ estaba compuesta de austenita. Después de calentarse a 2050°F (1121°C), las secciones de forma oblonga se dejaron enfriar con aire a una temperatura entre 20 aproximadamente 1100°F (aproximadamente 593°C) y aproximadamente 1200°F (aproximadamente 649°C). La caída de temperatura ocurrió en aproximadamente 1 minuto. La microestructura estaba compuesta de austenita. Las secciones de forma oblonga fueron después forjadas en una configuración de sección transversal circular mientras se mantenían a una temperatura de procesamiento de entre 1100°F (593°C) y 1200°F (649°C).

25 Las preformas forjadas después se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Al enfriarse, la transformación martensítica y precipitación de carburo ocurrieron en una microestructura e grano fino, homogénea, en la sección de forma oblonga de la preforma. Sin embargo, la microestructura se consideró inestable para la mayoría de las aplicaciones debido a la presencia de austenita retenida. Las preformas fueron posteriormente templadas tres veces a una temperatura de entre 950°F (510°C) y 1000°F (538°C) entre 45 minutos y 60 minutos.

30

Se observó una ganancia en resistencia al impacto en cada una de las secciones de forma oblonga deformada. La ganancia en resistencia al impacto fue atribuida al incremento en densidad de dislocación, reducción en el tamaño de grano autensítico e inicio de precipitación de carburo. También, similar a los resultados observados durante ensayos de forjado radial, las propiedades mecánicas de las preformas forjadas a una temperatura menor que AC₁, fueron mejoradas sobre aquellas forjadas por encima de AC₁. Se cree que las densidades de dislocación en las preformas forjadas a temperaturas más bajas son considerablemente más altas que las densidades de dislocación generadas al forjar a temperaturas más altas.

35

40 Con referencia a las figuras 10A y 10B, aunque el procesamiento termomecánico en las realizaciones ilustrativas anteriores mejora la resistencia al impacto, hay regiones de resistencias relativamente altas y relativamente bajas en cada sección de forma oblonga debido a la naturaleza inherente del procedimiento de forjado de deformación casi plana. Las regiones de deformación máxima y mínima están orientadas sustancialmente perpendiculares entre sí. Para los propósitos de claridad, la orientación preferida de los granos después del forjado se indica por líneas curvas en la figura 10B. Las regiones de resistencia al impacto relativamente baja son típicamente aquellas que entran en contacto con, o están en la vecindad de, la cavidad de la herramienta y de la corredera. Las regiones de resistencia al impacto relativamente alta están relacionadas con la región de deformación máxima. Las dimensiones de la sección transversal mostrada en la figura 10A son de aproximadamente 13,11 mm de altura y 11,03 mm de ancho, donde el ancho se mide desde el extremo (izquierdo) de la preforma a un lugar en donde la superficie de la sección de forma oblonga deformada 73 realiza la transición a la sección cilíndrica 72 (derecha).

50

En preformas donde se requieren una mejora máxima y una resistencia del material casi uniforme, un procedimiento de forjado de deformación casi plana de múltiples etapas se puede usar para mejorar secuencialmente la resistencia de las regiones de resistencia al impacto relativamente bajas. Por ejemplo, para obtener barras cilíndricas tratadas termomecánicamente para herramientas formadoras de metal y cortadoras de metal, una preforma en una configuración de una barra con una geometría de sección transversal de un rectángulo o un cuadrado podría tratarse termomecánicamente usando forjado de deformación casi plana en una barra con una sección transversal ovalada. El procesamiento termomecánico posterior de la sección transversal ovalada para formar una barra con una sección transversal circular puede proporcionar una distribución de deformación más uniforme. Específicamente, con referencia a la figura 10B, como resultado de un primer tratamiento termomecánico usando forjado de deformación casi plana, las regiones de resistencia relativamente baja se alinearían a lo largo o cerca de las regiones de deformación mínima, y las regiones de resistencia relativamente alta se alinearían en relación con las regiones de deformación relativamente alta. Por lo tanto, una barra rectangular o cuadrada que es forjada en una sección transversal ovalada se puede usar como una preforma para un procedimiento de forjado de deformación casi plana. En el procedimiento posterior, las regiones de resistencia relativamente baja se pueden alinear a lo largo de la dirección de deformación más alta. Esta orientación, por ejemplo, puede estar alineada perpendicular a la dirección

60

65

de deformación inicial. Las regiones de resistencia relativamente baja, por lo tanto, estarían reforzadas como resultado de la deformación en esa región. Por el contrario, las regiones de resistencia alta de la primera operación de forjado observarían una resistencia a la deformación mínima y, por lo tanto, una mejora mínima.

5 **Ejemplo 7**

Se prepararon dos herramientas a partir de una preforma de metal en polvo de un acero para herramientas T15. La preforma se mecanizó a partir de un metal en polvo T15 isotácticamente prensado en caliente, templado. Se observó que la microestructura de la placa fue casi isotrópica como resultado del método de su preparación. La preforma tenía la configuración mostrada en la figura 11A. Como se muestra, un extremo de la preforma 76 tenía una forma piramidal. La longitud global de la preforma medía 5,75 pulgadas (14,6 centímetros) con la sección piramidal siendo de 1,75 pulgadas (4,445 centímetros) de la longitud total.

La preforma 76 se calentó con un calentador de inducción a una temperatura de procesamiento entre 2000°F (1093°C) y 2050°F (1121°C) (entre AC₁ y AC₃) en aproximadamente 4 minutos. La preforma caliente fue forjada en un ciclo a una forma casi neta con recalado AJAX mecánico horizontal de 1000 Toneladas con 500 toneladas de fuerza de sujeción de la matriz. La preforma forjada 78 se muestra en la figura 11 B. En particular, el extremo piramidal de 1,75 pulgadas (4,445 centímetros) fue forjado en un extremo rectangular de 1 pulgada (2,54 centímetros) como se muestra.

Después del forjado, se alivió el esfuerzo del forjado 78 en un horno a 1400°F (760°C) entre 45 y 60 minutos. La preforma forjada 78 se dejó enfriar en el horno a temperatura ambiente.

La preforma cuyo esfuerzo fue aliviado se templó en forma triple para convertir austenita retenida a martensita. La dureza final se midió entre 63 HRC y 66 HRC. Las partes templadas en forma triple fueron mecanizadas para retirar escamas, eliminar carbono y para proporcionar la forma de herramienta final. Un conjunto de dos herramientas 18b, 18c se hizo a partir de la configuración de la preforma mostrada en la figura 11B, cortando la preforma mostrada a la mitad.

Las dos herramientas 18b, 18c operaron una en relación con la otra (como se indica mediante las flechas en la figura 11C), es decir, una herramienta superior y una herramienta inferior, para cortar una pieza de trabajo de acero de lámina (no mostrada). La tolerancia entre las herramientas fue de 0,006 pulgadas (0,01524 centímetros). La pieza de trabajo fue acero 22MnB5 con un revestimiento de AlSi que se vendió bajo la marca comercial USIBOR® 1500P. El acero de la pieza de trabajo fue UTS 1500 MPa (50HRC). La lámina midió 1,85 mm (0,07283 pulgadas) de espesor. La prueba se hizo a aproximadamente 68°F (aproximadamente 20°C). El desgaste en el borde del corte fue monitorizado en cuatro lugares. Se hicieron mediciones del perfil de borde de corte cada 5.000 impactos o ciclos.

Las mediciones de perfil de borde para cada una de las herramientas T15 superior e inferior se muestran en las figuras 12A, 13A, 14A y 15A, que también proporcionan los perfiles de borde para una herramienta de un material de referencia y metal en polvo CPM® M4. (Las herramientas hechas de metal en polvo CPM® M4 se describen completamente en el ejemplo 8, a continuación). Aunque se hicieron medios de desgaste en cuatro posiciones en las herramientas superiores e inferiores, solo los dos lugares de desgaste más altos en las herramientas superiores e inferiores se proporcionan en las figuras. Las mediciones de perfil se hicieron en los lugares indicados en las figuras 12B, 13B, 14B y 15B, respectivamente.

De manera más específica, las figuras 12A y 13A son gráficas del perfil de borde de un borde de corte de las herramientas superiores en lugares especificados en la figura 12B (posición 1) y figura 13B (posición 4), respectivamente. Y las figuras 14A y 15A son gráficas del perfil de borde de las herramientas inferiores en los lugares especificados en la figura 14B (posición 1) y la figura 15B (posición 4), respectivamente. Los perfiles de borde en los lugares 1 y 4 como se indica en las figuras son ilustrativos de las mediciones de desgaste en los dos lugares restantes, no informados.

Con referencia a las figuras 12A, 13A, 14A y 15A, la línea que está marcada "Inicio de geometría de borde" representa la geometría de borde antes de cualquier uso. La línea que está marcada "Referencia", representa mediciones hechas en una herramienta hecha de un material de referencia procesado de acuerdo con un estándar de la industria.

Los perfiles de borde en los lugares 1 y 4 para la herramienta T1 en 10.000 y 20.000 impactos se marcan "T15...10.000 impactos" y "T15...20.000 impactos", respectivamente. Como ilustran las gráficas, el borde de la herramienta T15 hecha de acuerdo con el procedimiento anterior tenía menos desgaste en los 10.000 impactos que tenía el material de referencia en 10.000 impactos en las herramientas superior e inferior en cada lugar. A 20.000 impactos, la herramienta T15 tuvo una cantidad de desgaste comparable a la herramienta de material de referencia a 10.000 impactos. Por lo tanto, una herramienta T15 de acuerdo con una realización de la invención proporciona casi el doble de resistencia al desgaste e impacto que el material de referencia.

65

Ejemplo 8

- 5 Se prepararon dos herramientas a partir de una preforma de metal en polvo de un acero para herramienta CPM® M4. (CPM® es una marca comercial de Crucible Materials Corp., Nueva York). La preforma fue mecanizada a partir de material a granel de metal en polvo CPM® M4 templado. Se observó que la microestructura de la placa CPM® M4 tuvo una banda de carburo primaria como resultado de la dirección de laminado usada para preparar el material a granel CPM® M4. La preforma tenía la conformación mostrada en la figura 11A. Como se muestra, un extremo de la preforma tenía una forma piramidal. La longitud global de la preforma medía 5,75 pulgadas (14,6 centímetros) con la sección piramidal siendo de 1,75 pulgadas (4,445 centímetros) de las 5,75 pulgadas (14,6 centímetros).
- 10 La preforma se calentó con un calentador de inducción a entre 2000°F (1093°C) y 2050°F (1121°C) (entre AC₁ y AC₃) en aproximadamente 4 minutos. La preforma caliente se forjó en un ciclo a una forma casi neta con recalado AJAX mecánico horizontal de 1.000 Toneladas con 500 toneladas de fuerza de sujeción de la matriz. La preforma forjada se muestra en la figura 11B. En particular, el extremo piramidal de 1,75 pulgadas (4.445 centímetros) (mostrado en la figura 11A) fue forjado en un extremo rectangular de 1 pulgada (2,54 centímetros), como se muestra.
- 15 Después del forjado, se alivió el esfuerzo de la preforma en un horno a 1400°F (760°C) entre 45 y 60 minutos. La preforma se dejó enfriar en el horno a temperatura ambiente.
- 20 La preforma cuyo esfuerzo fue aliviado fue templada en forma triple para convertir cualquier austenita retenida a martensita. La dureza final se midió entre 62 HRC y 64 HRC.
- 25 La orientación de ganancia preferida en una región de borde de corte de la preforma forjada de la figura 11B fue similar a la de la figura 16A. Las dimensiones de la muestra mostrada en la figura 16A fue 17,98 mm desde la parte superior a la parte inferior y de 13,82 mm de lado a lado. A partir de las mediciones de perfil de borde mostradas en las figuras 12A, 13A, 14A y 15A, las herramientas forjadas CPM®M4 tuvieron menos desgaste que el material referenciado a 10.000 impactos. Nuevamente, se observó una mejora sustancial en la vida de las herramientas.
- 30 Aunque la invención se ha ilustrado mediante una descripción de varias realizaciones y aunque esas realizaciones se han descrito en detalle considerable, no es intención de los solicitantes restringir o de alguna manera limitar el alcance de las reivindicaciones adjuntas a dicho detalle. Ventajas y modificaciones adicionales serán fácilmente evidentes para los expertos en la técnica. Por lo tanto, la invención, en sus realizaciones más amplias no se limita a los detalles específicos, aparatos y métodos representativos, y ejemplos ilustrativos mostrados y descritos. Por
- 35 consiguiente, se pueden hacer desviaciones de dichos detalles sin apartarse del alcance del concepto inventivo general de los solicitantes.

REIVINDICACIONES

1. Un método para procesar termomecánicamente una preforma compuesta de acero para herramientas, que tiene una temperatura de inicio martensítica y una temperatura austenítica estable, teniendo la preforma una primera región (30, 62) que contiene austenita, incluyendo la primera región (30, 62) una superficie exterior y una pluralidad de dimensiones exteriores de la superficie exterior y una segunda región (32) separada de la superficie exterior por la primera región (30, 62), comprendiendo el método:
 - establecer al menos la primera región (30, 62) de la preforma de acero para herramientas a una temperatura de proceso entre la temperatura de inicio martensítica y la temperatura austenítica estable tal que la microestructura contiene austenita;
 - mientras la primera región (30, 62) de la preforma está en la temperatura de proceso, deformar la primera región (30, 62) para cambiar al menos una de las dimensiones exteriores de la región y para modificar la microestructura de la región en una profundidad que se extiende desde la superficie exterior hasta una profundidad de 1 milímetro o más por debajo de la superficie exterior; y
 - después de que la primera región (30, 62) se deforme, enfriar la primera región (30, 62) a la temperatura ambiente, evitando la formación de fase de bainita, donde la microestructura en la primera región (30, 62) incluye granos martensíticos que tienen una distribución de ángulos de desorientación, **caracterizado por** un ángulo de desorientación medio entre granos adyacentes que es mayor que aproximadamente 34°.
2. El método de la reivindicación 1 donde, después de que la primera región (30, 62) se deforme, las dimensiones exteriores de la primera región son aproximadamente iguales a una forma casi neta de una herramienta utilizada en la conformación de metales o aplicaciones de corte de metal.
3. El método de la reivindicación 1 o de la reivindicación 2, donde la primera región (30, 62) tiene una longitud, y el cambio en la al menos una de las dimensiones exteriores aumenta o disminuye la longitud de la primera región.
4. El método de cualquier reivindicación anterior, donde la temperatura del proceso se mantiene isotérmica mientras la primera región (30, 62) se deforma.
5. El método de la reivindicación 1, que comprende además:
 - antes de la deformación de la primera región (30, 62), calentar la primera región a una temperatura por encima de una temperatura de inicio austenítica del acero para herramientas y enfriar la primera región desde la temperatura por encima de la temperatura de inicio austenítica a la temperatura del proceso.
6. El método de la reivindicación 1, donde la temperatura del proceso está entre la temperatura de inicio martensítica y una temperatura de inicio austenítica del acero para herramientas, y que comprende además:
 - mientras la primera región (30, 62) se deforma, mantener la temperatura del proceso entre la temperatura de inicio martensítica y la temperatura de inicio austenítica.
7. El método de la reivindicación 1, donde la microestructura de la primera región (30, 62) no recristaliza.
8. El método de la reivindicación 1, que comprende además:
 - templar la primera región (30, 62), donde el templado incluye calentar la primera región a una temperatura que no exceda la temperatura de proceso.
9. El método de la reivindicación 1, que comprende además:
 - antes de la deformación de la primera región, montar una carcasa (66) hecha de acero para herramientas con un núcleo (68) de acero diferente, donde el establecimiento de la primera región (30, 62) a la temperatura de proceso incluye el establecimiento de al menos la carcasa (66) a la temperatura del proceso, y, mientras la carcasa (66) se encuentra a la temperatura de proceso, deformar al menos una porción de la carcasa (66).
10. Una herramienta para su uso en una máquina para modificar una pieza de trabajo, comprendiendo la herramienta un elemento (20, 56) compuesto de un acero para herramientas, teniendo el elemento una superficie exterior (22) que define una primera porción (24) configurada para acoplarse con la máquina y una segunda porción adaptada para contactar con la pieza de trabajo, incluyendo la segunda parte una primera región (30, 62) que se extiende desde la superficie exterior hasta una profundidad de más de 1 milímetro y una segunda región (32) separada de la superficie exterior por la primera región (30), incluyendo la primera región (30, 62) una pluralidad de granos martensíticos que tienen una distribución de ángulos de desorientación, **caracterizada por** un ángulo de desorientación medio entre granos adyacentes mayor de aproximadamente 34°, que tiene un tamaño medio de grano que es al menos un 10 % más pequeño que un tamaño de grano medio de una pluralidad de granos de la

segunda región, y que tiene una orientación de grano diferente de la pluralidad de granos en la segunda región, donde la primera región (30, 62) está sustancialmente libre de bainita.

- 5 11. La herramienta de la reivindicación 10, donde el ángulo de desorientación medio es al menos aproximadamente de 40°.
12. La herramienta de la reivindicación 10, donde la microestructura de la primera región (30, 62) no se ha recristalizado.
- 10 13. La herramienta de la reivindicación 11, donde el elemento incluye una carcasa (66) hecha de acero para herramientas y un núcleo (68) hecho de un acero diferente, teniendo la carcasa (66) la superficie exterior que define la primera porción y el núcleo (68) que forman al menos una porción de la segunda región.

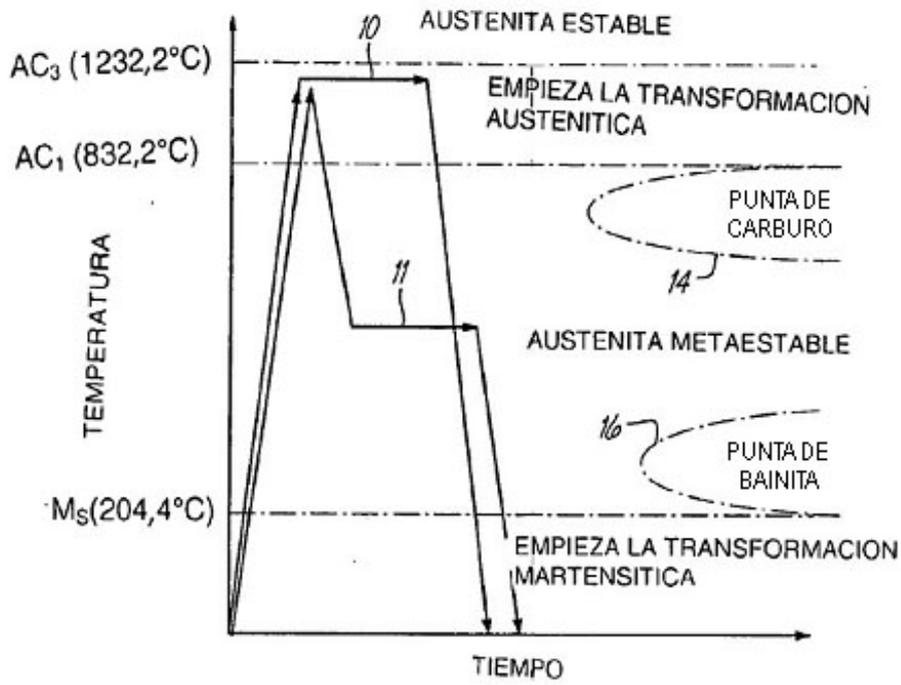


FIG. 1

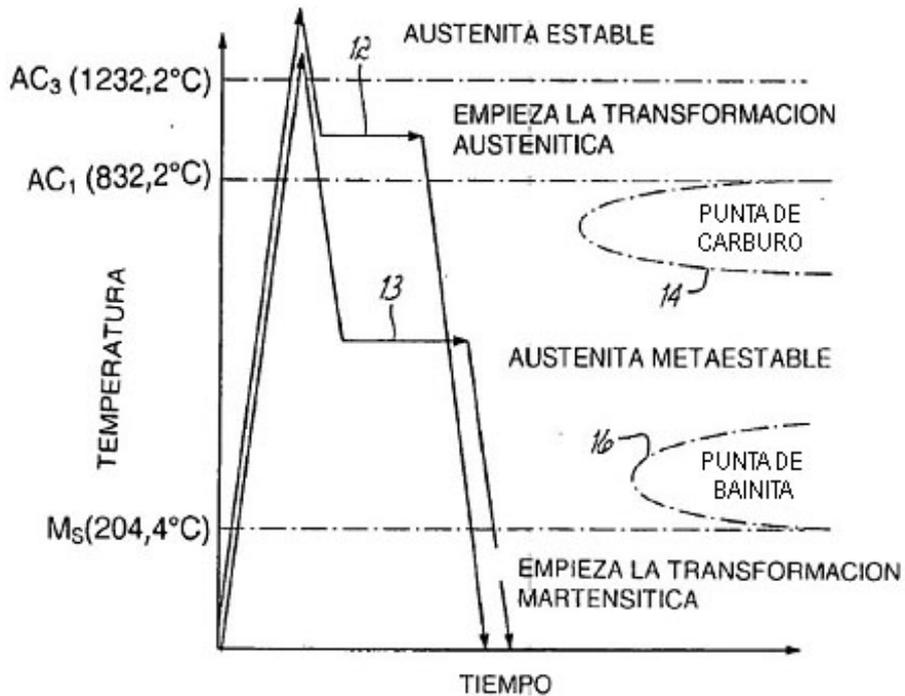


FIG. 1A

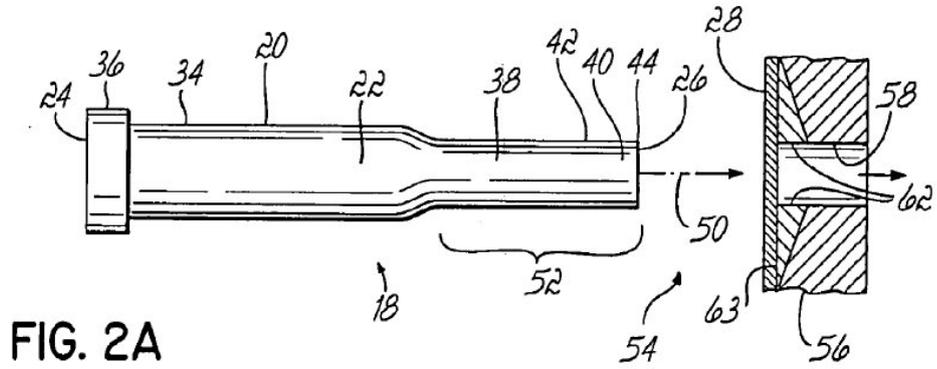


FIG. 2A

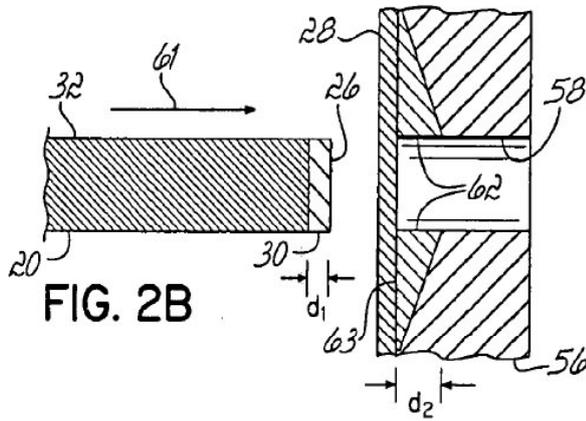


FIG. 2B

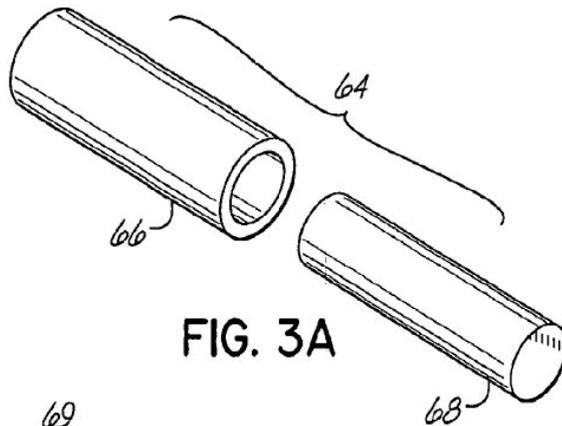


FIG. 3A

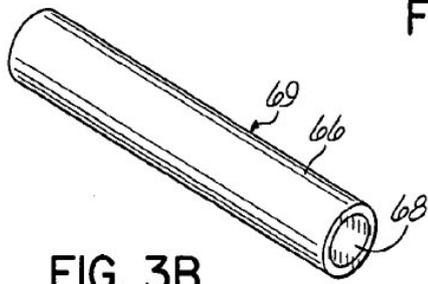


FIG. 3B

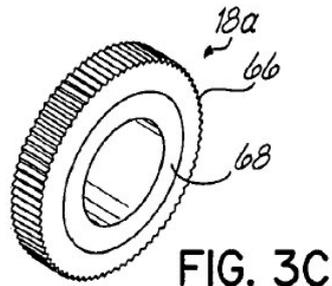


FIG. 3C

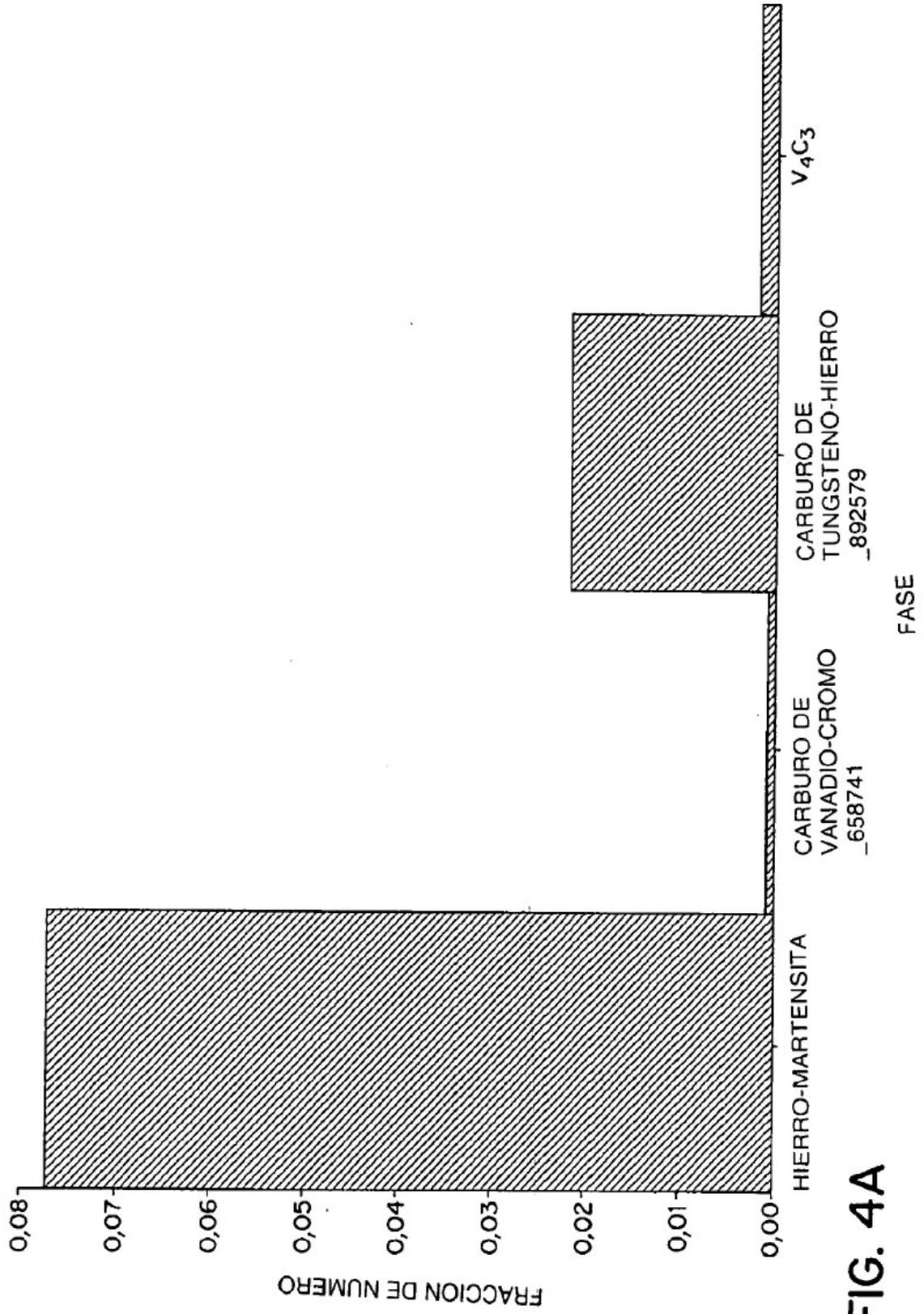


FIG. 4A

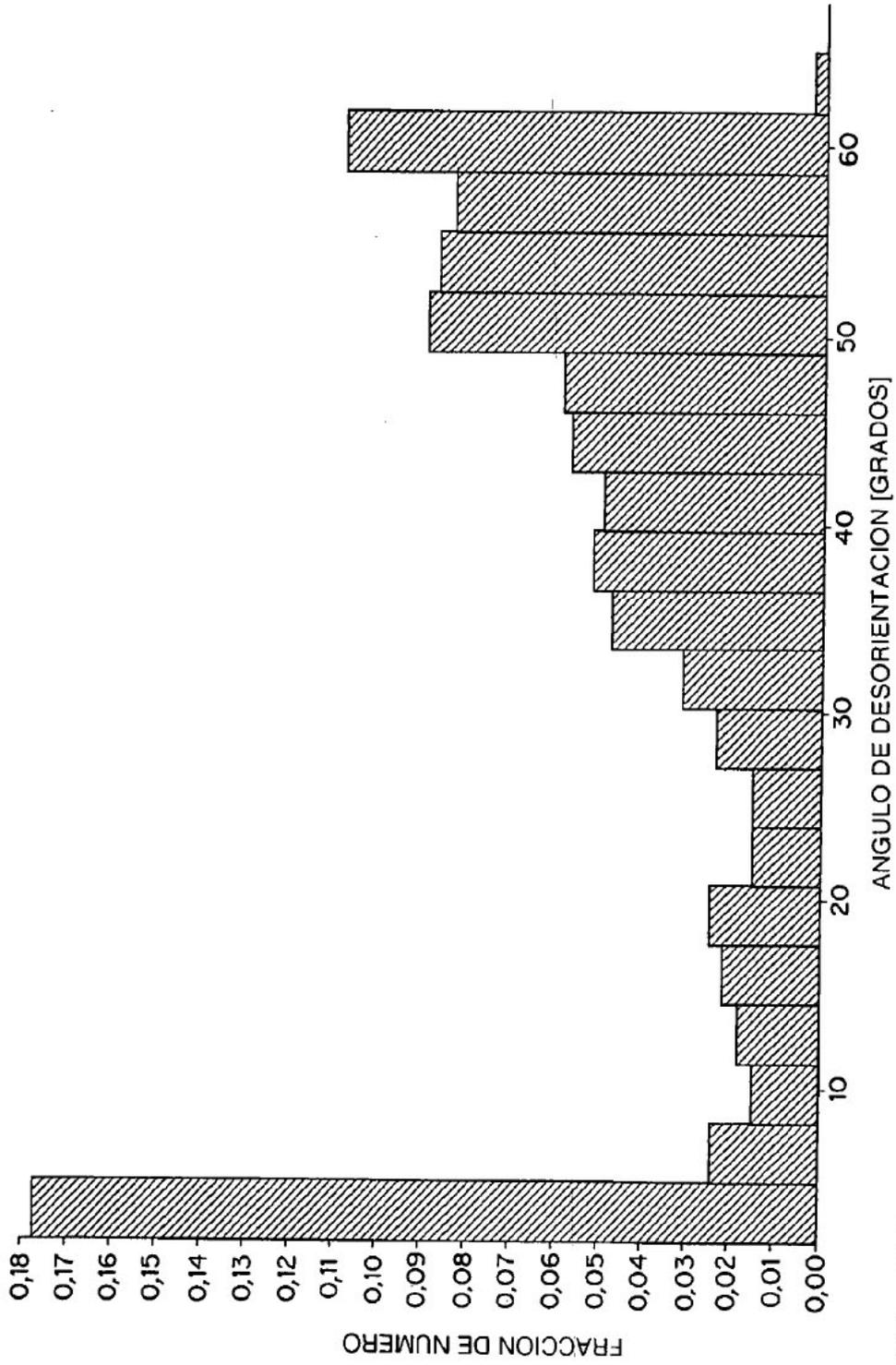


FIG. 4B

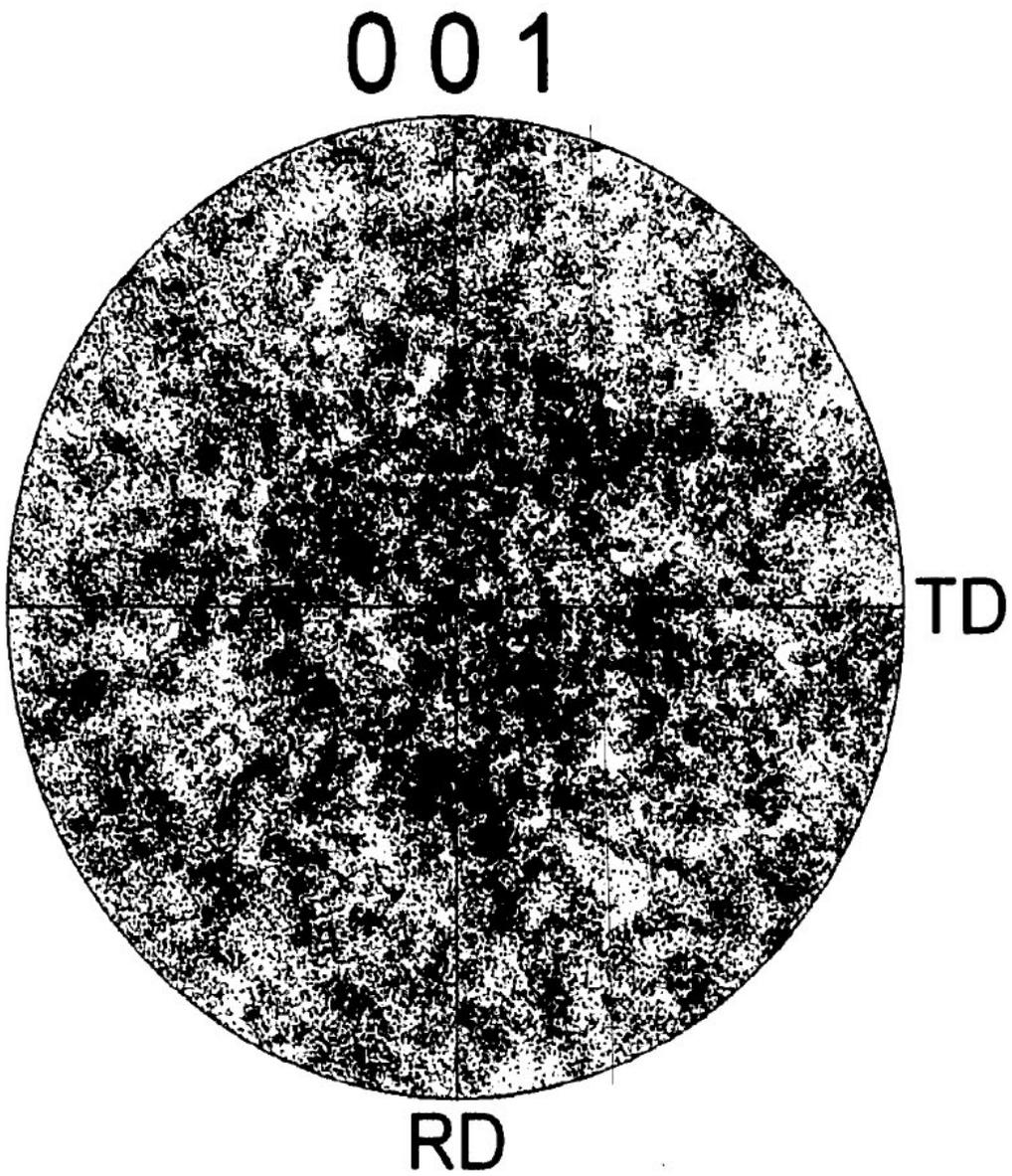


FIG. 4C

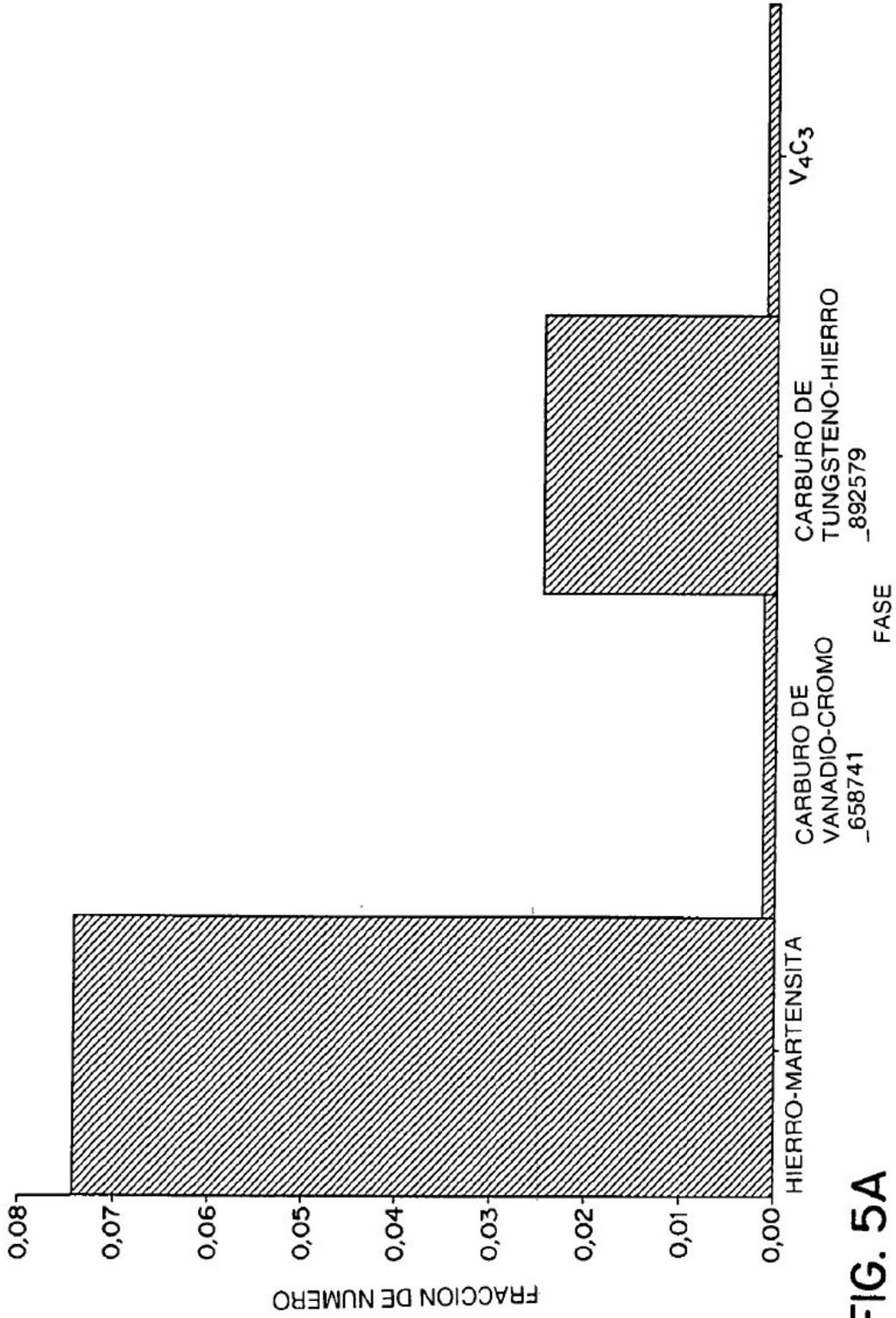


FIG. 5A

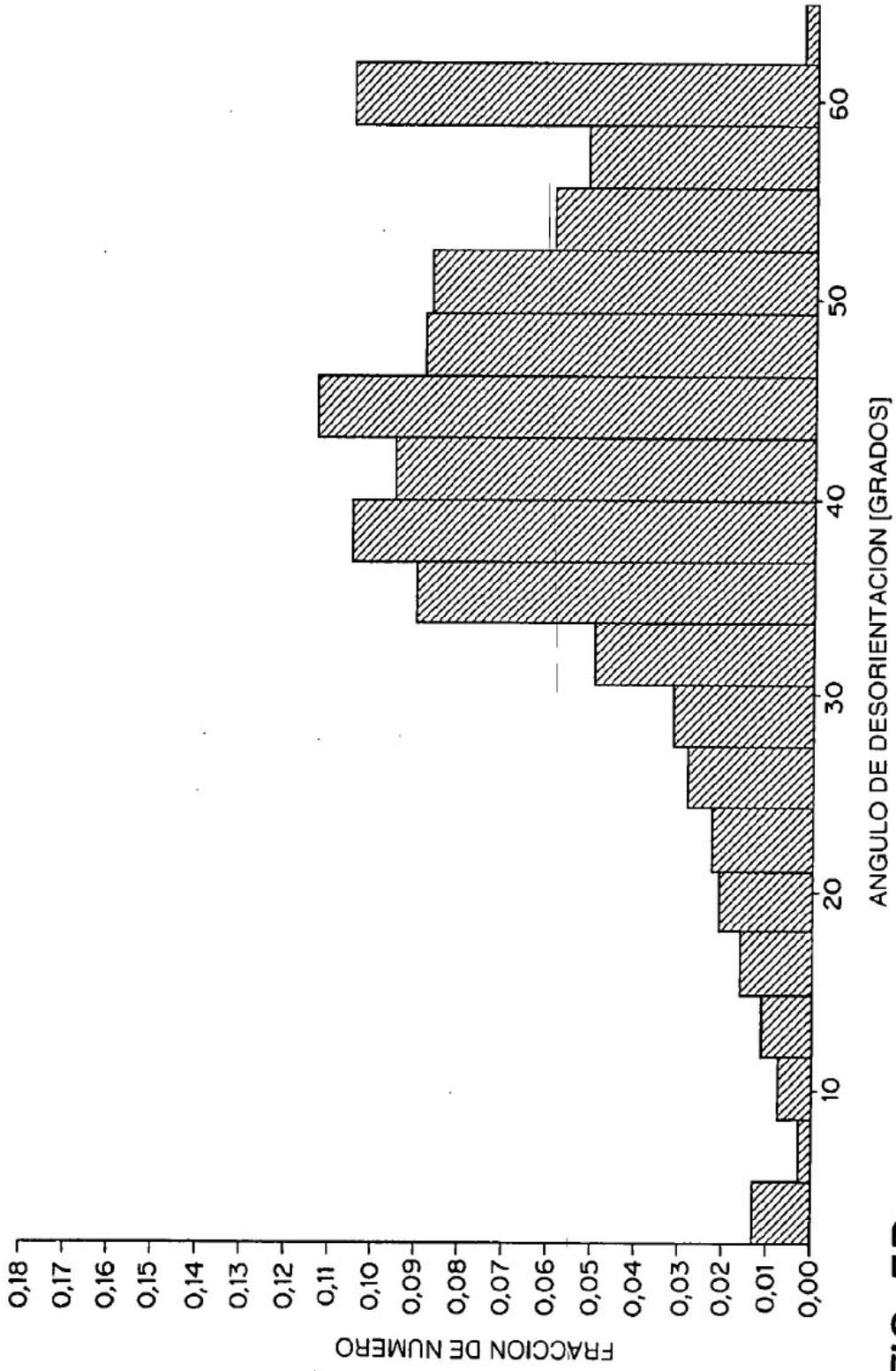


FIG. 5B

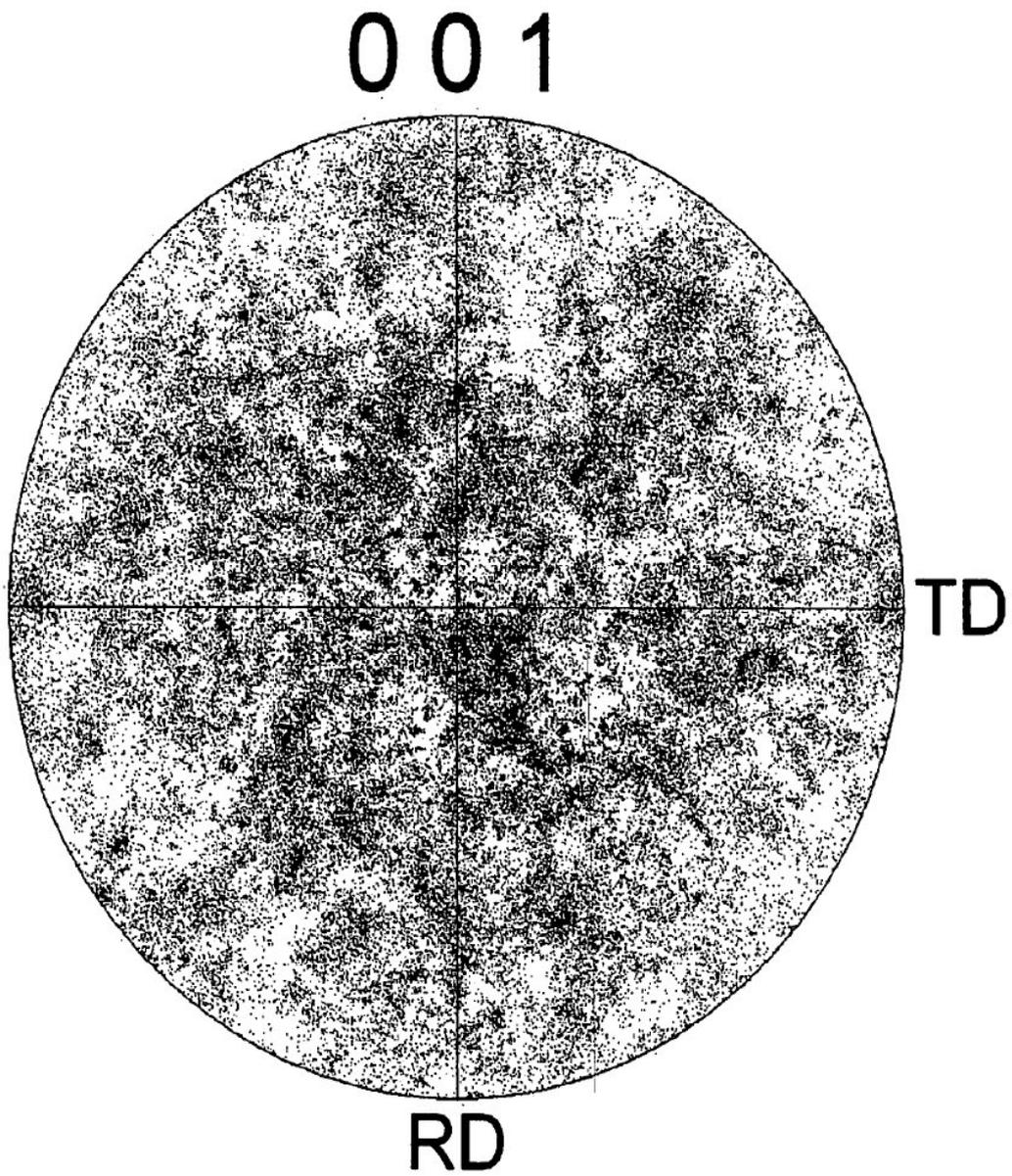


FIG. 5C

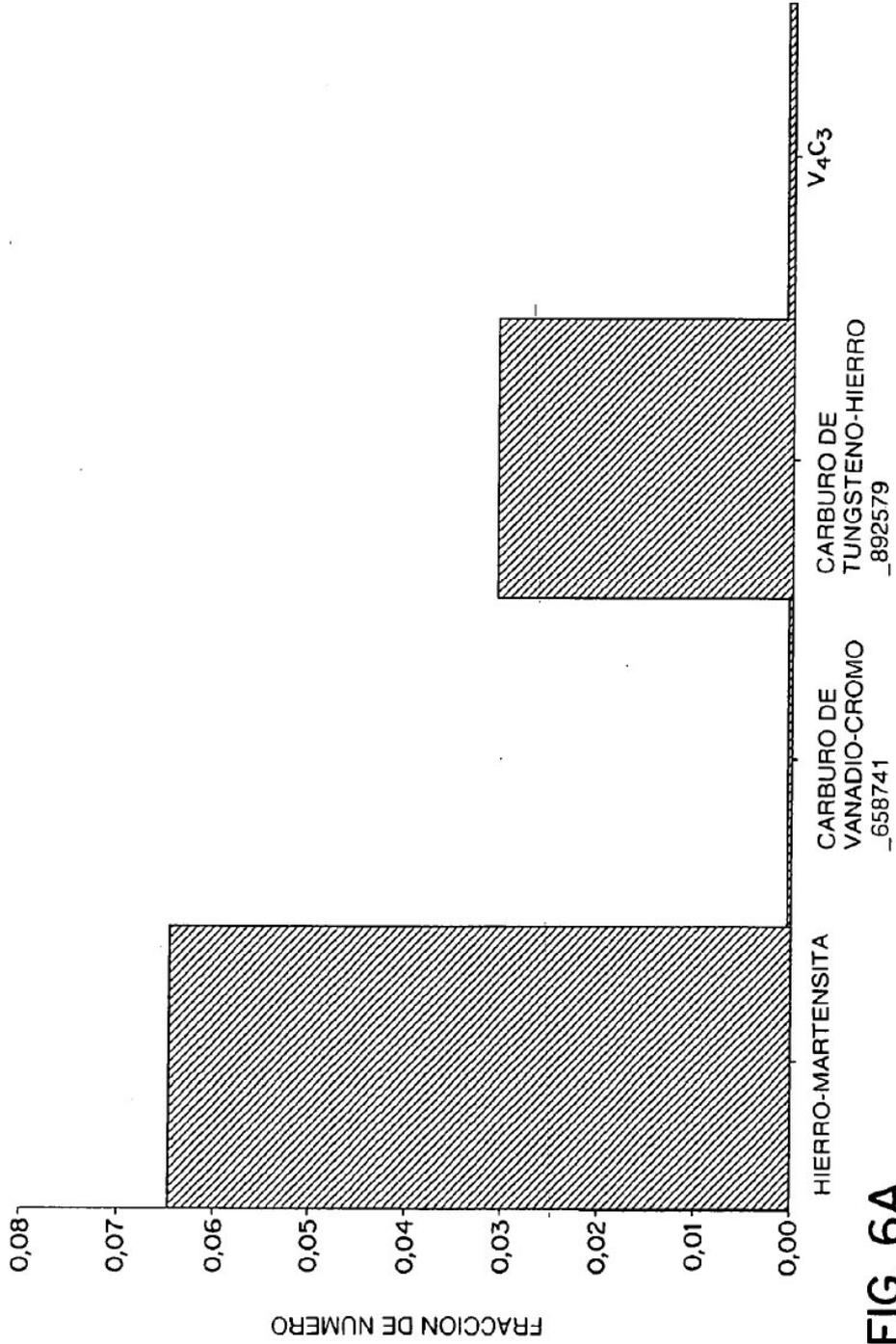


FIG. 6A

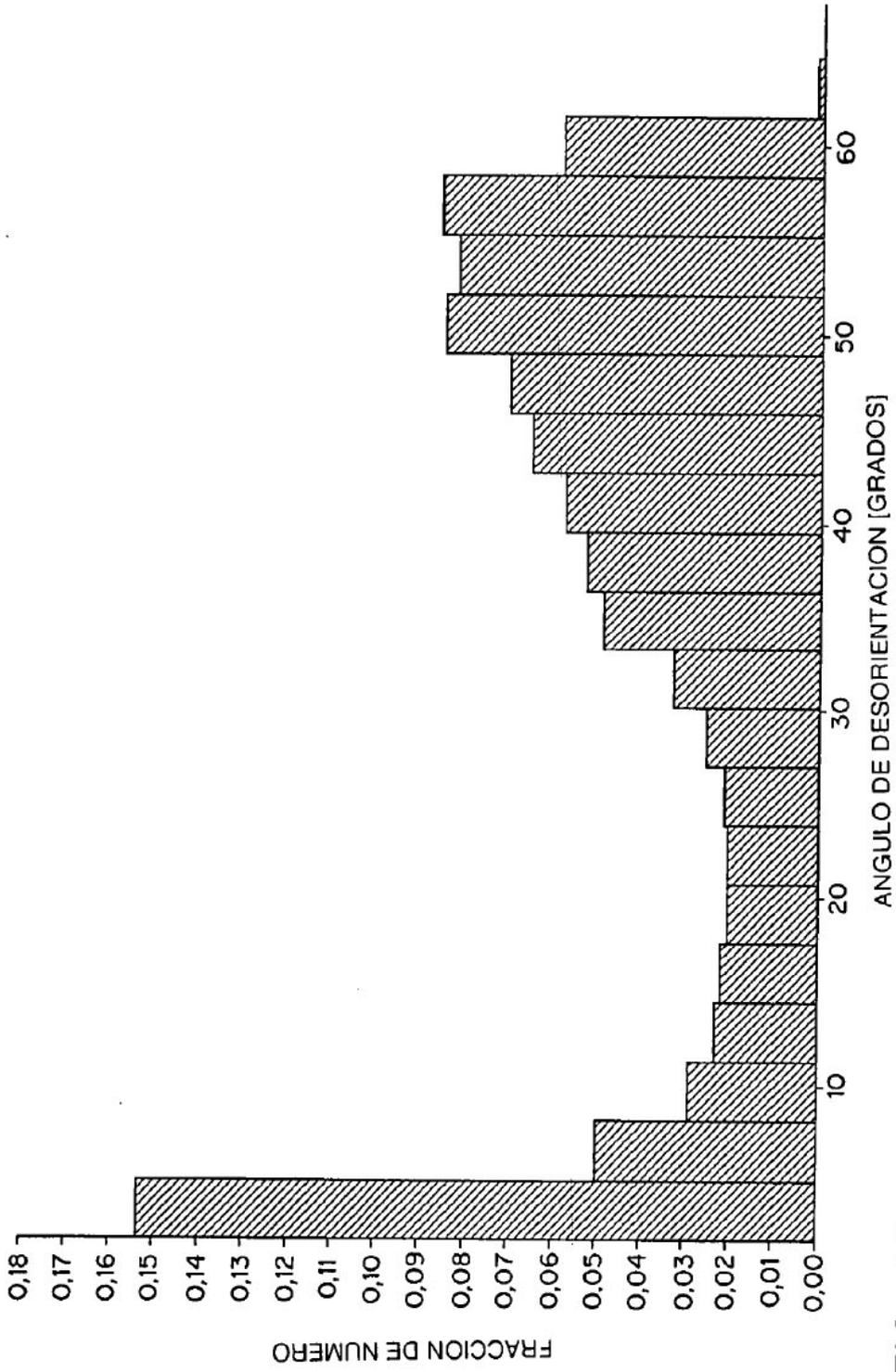


FIG. 6B

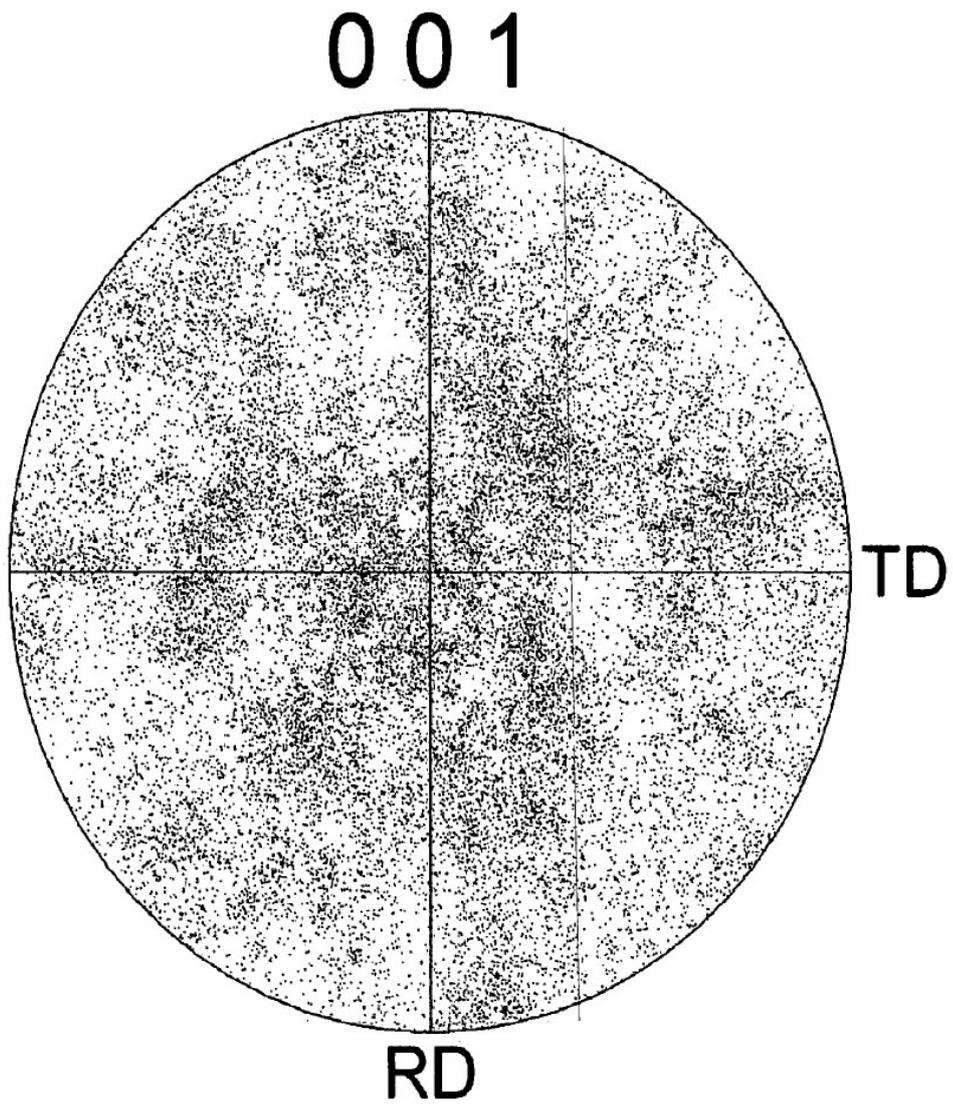


FIG. 6C

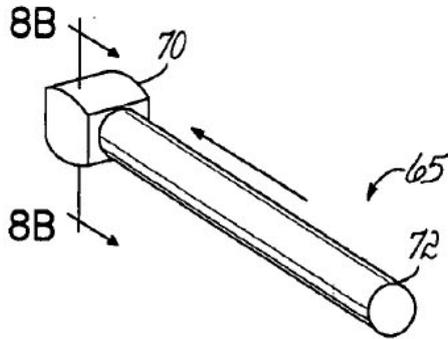


FIG. 7



FIG. 8A



FIG. 8B

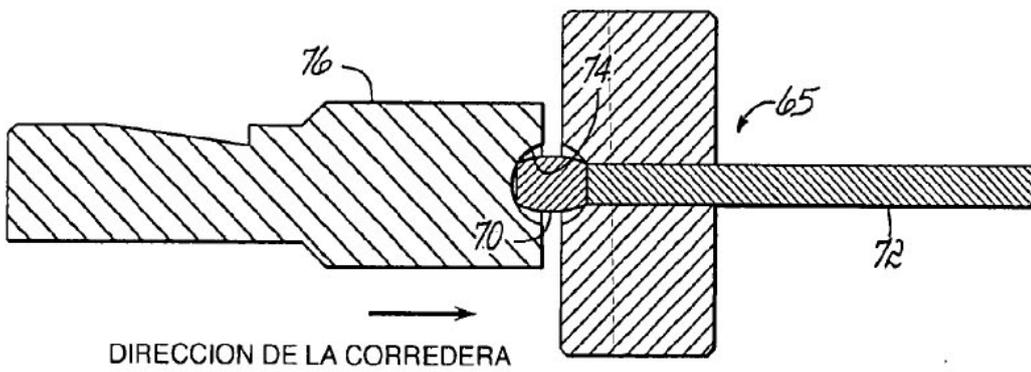


FIG. 9

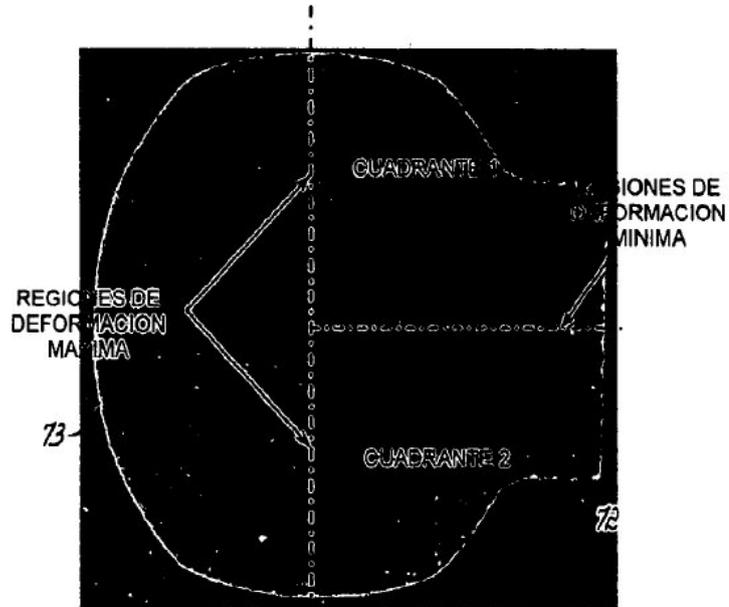


FIG. 10A

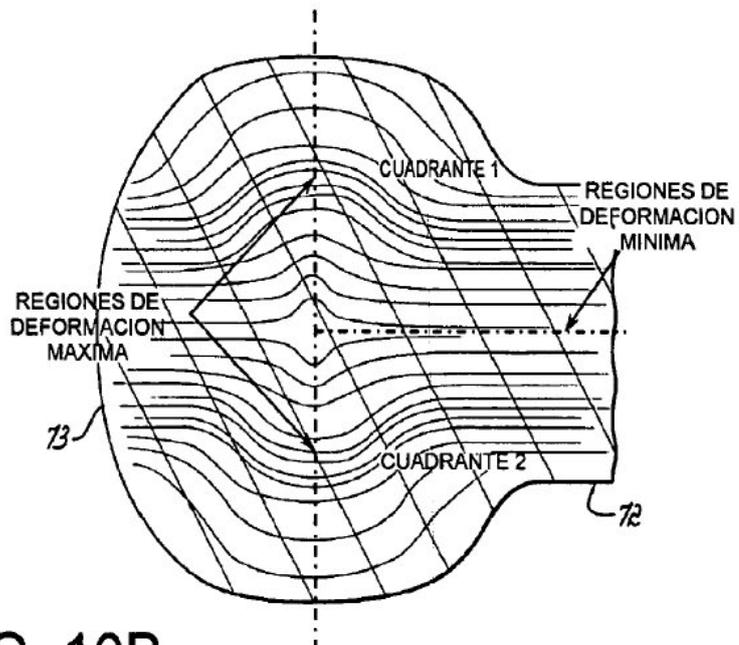


FIG. 10B

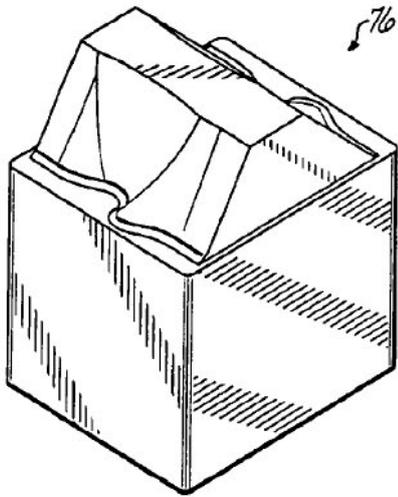


FIG. 11A

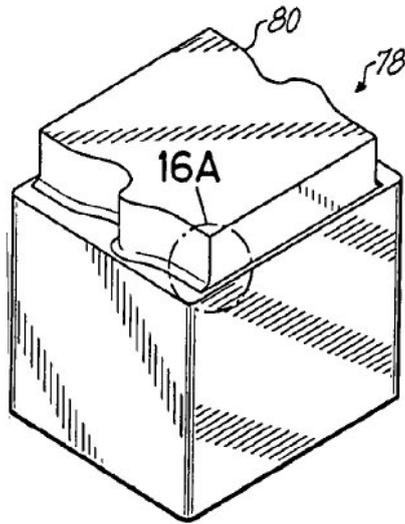


FIG. 11B

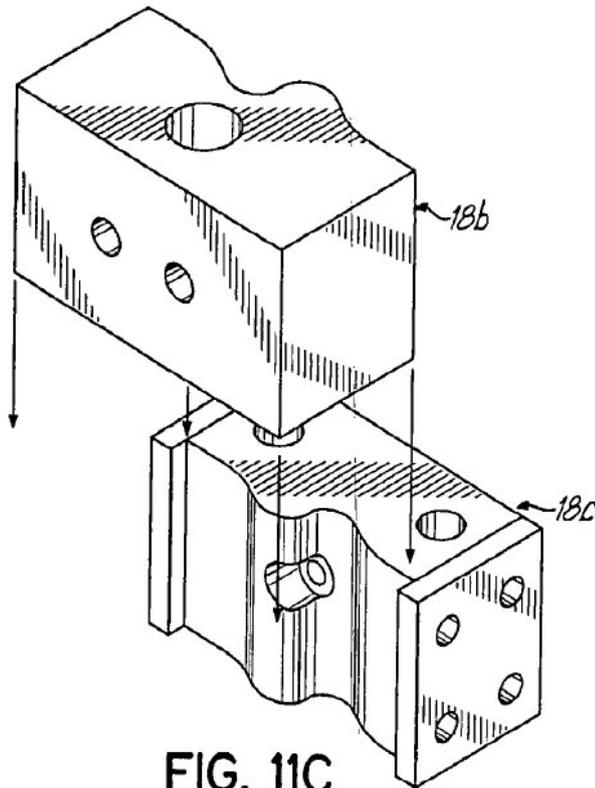


FIG. 11C

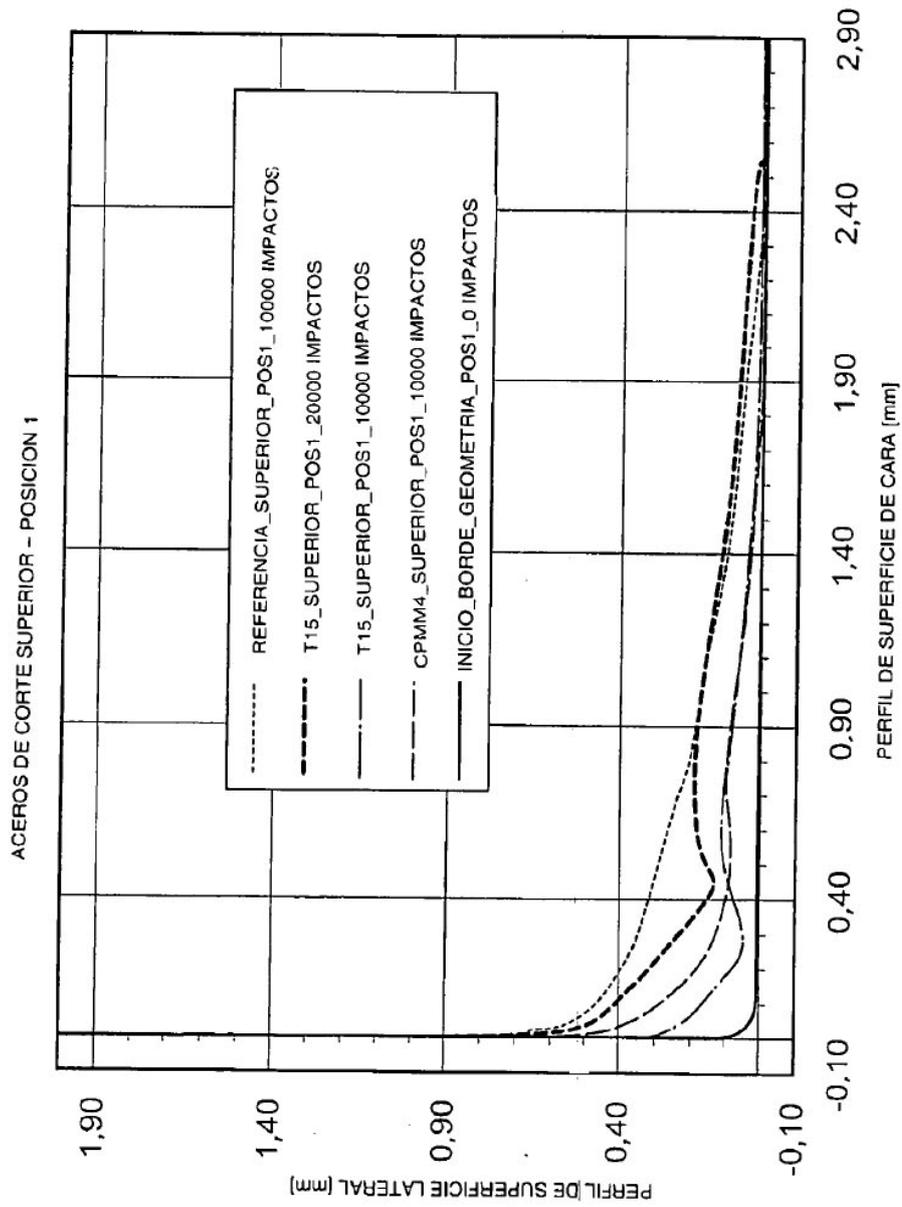


FIG. 12A

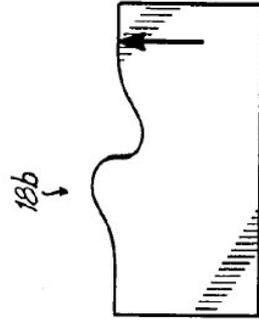


FIG. 12B

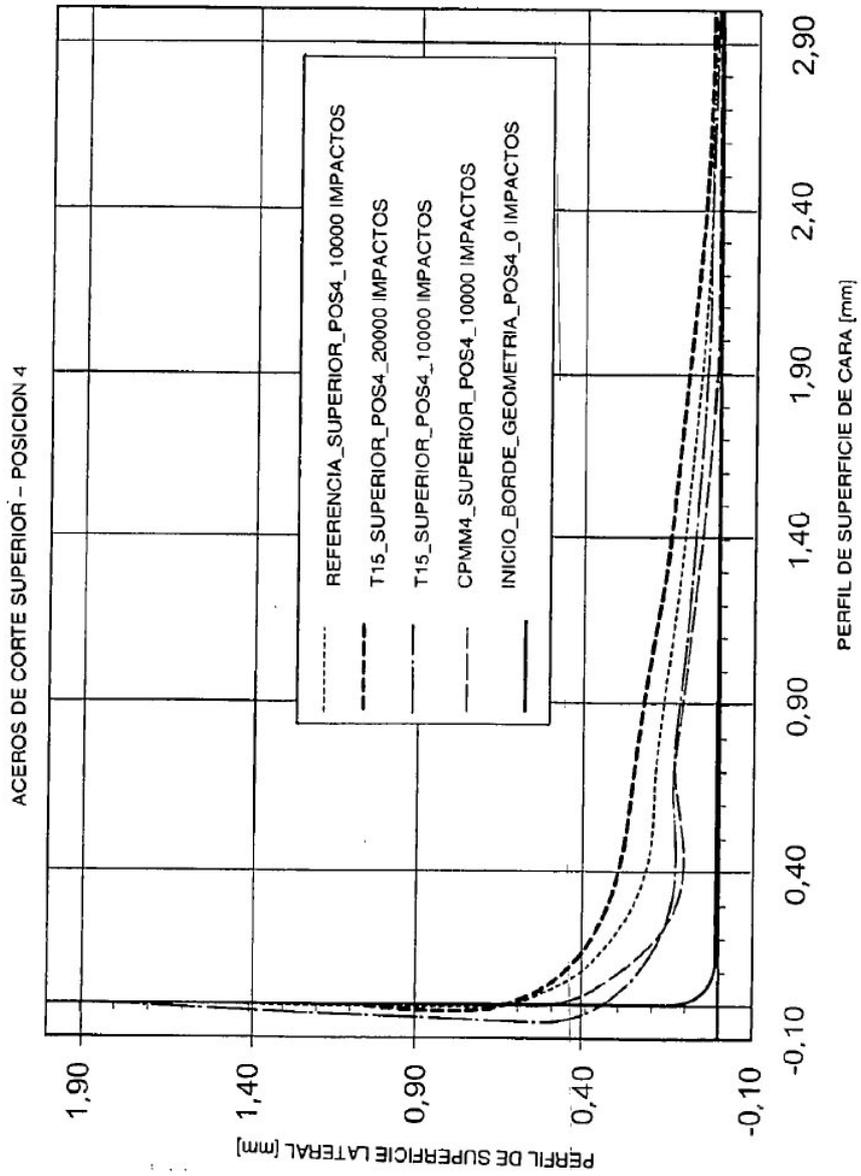


FIG. 13A

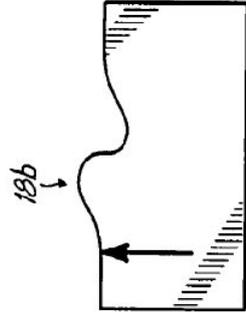


FIG. 13B

ACEROS DE CORTE INFERIOR - POSICION 1

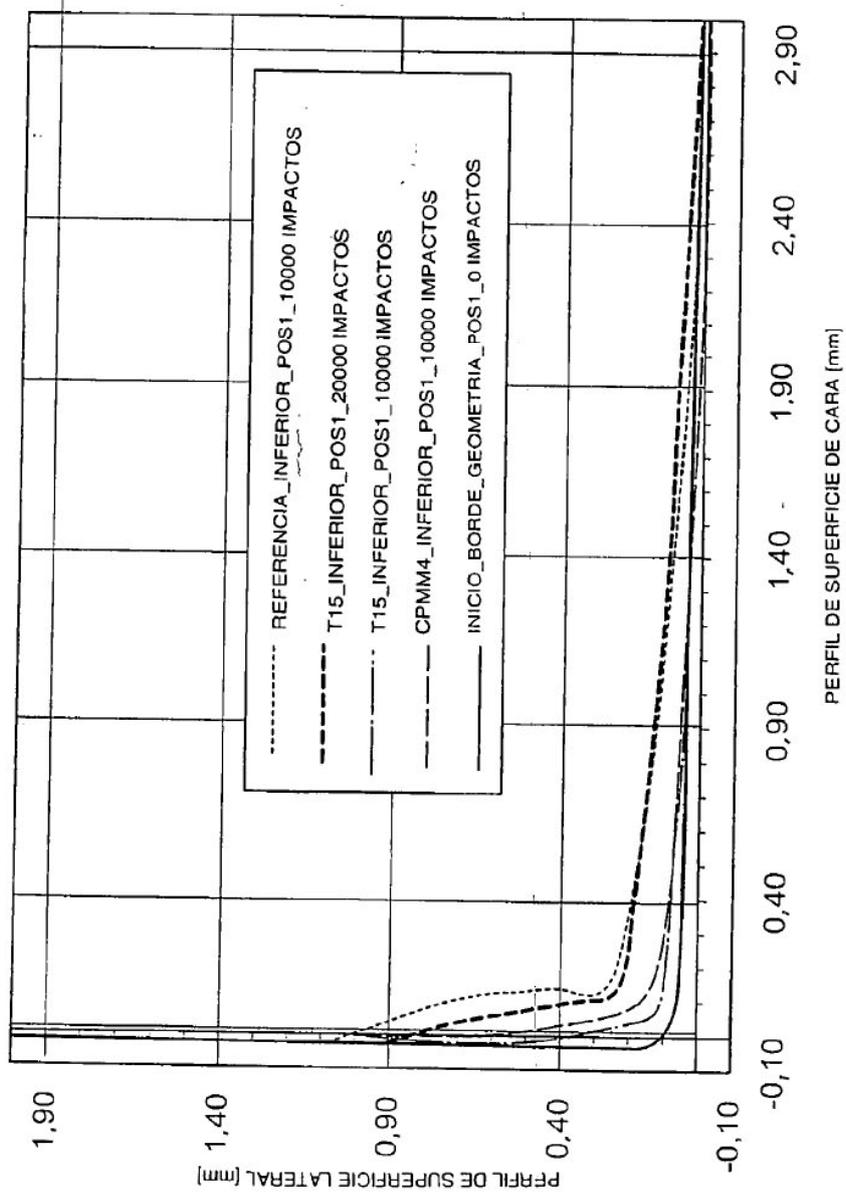


FIG. 14A

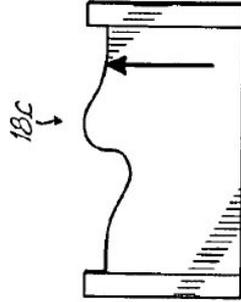


FIG. 14B

ACERÓS DE CORTE INFERIOR – POSICION 4

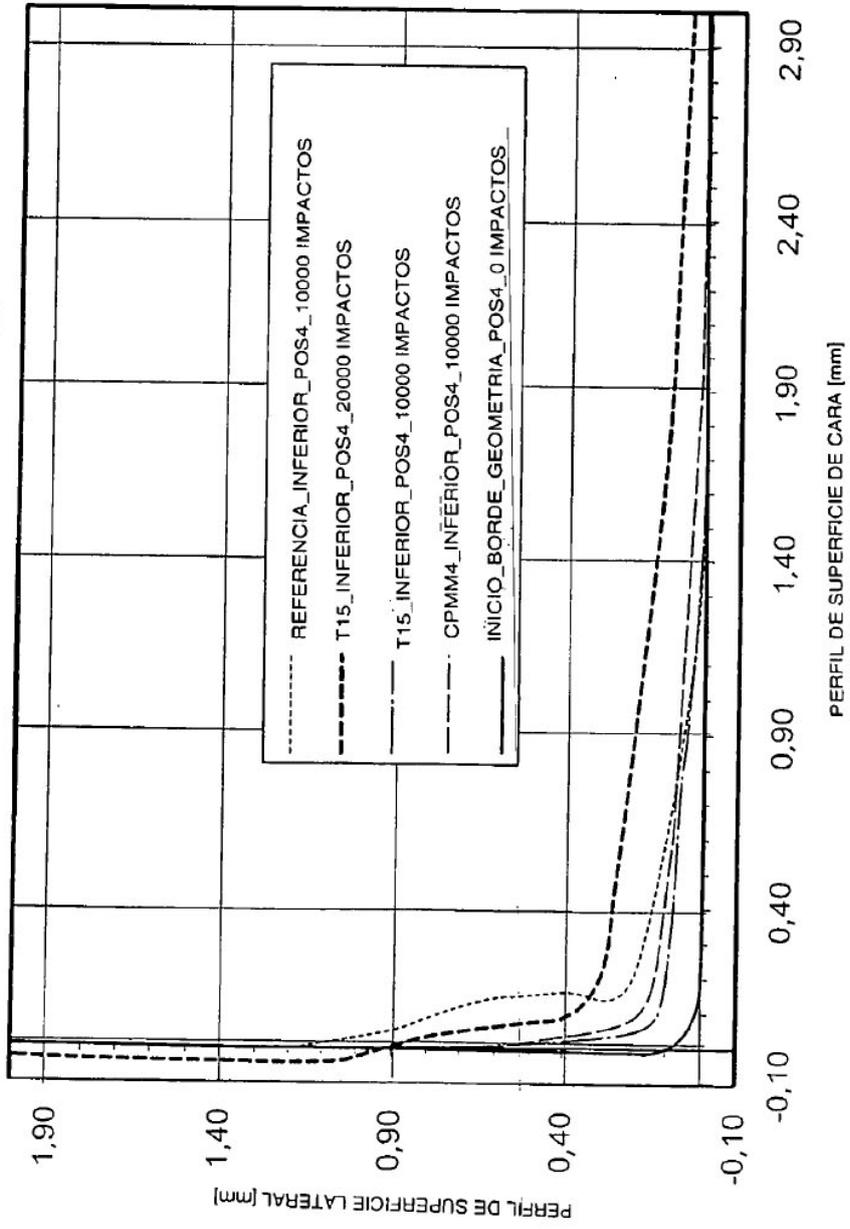


FIG. 15A

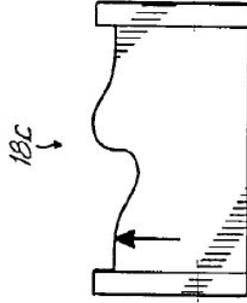


FIG. 15B

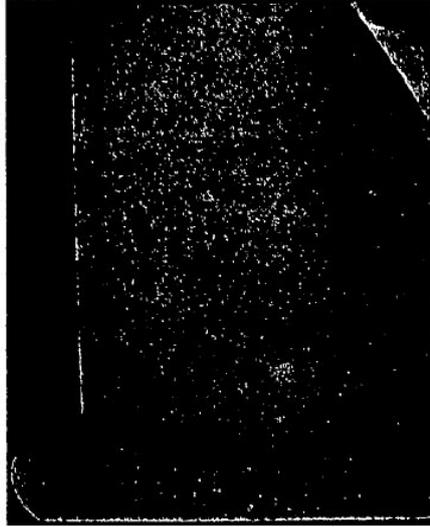


FIG. 16A

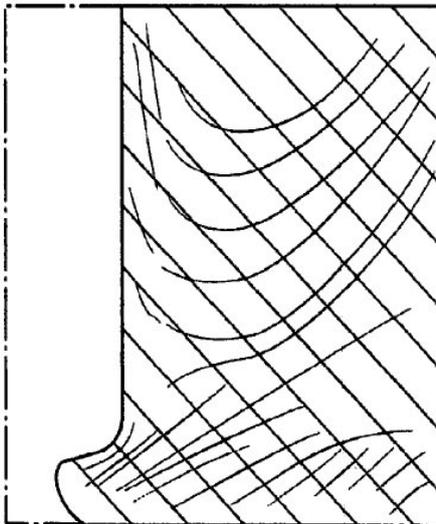


FIG. 16B