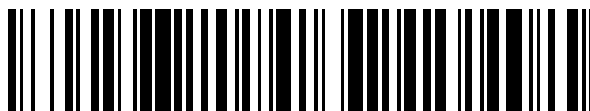


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 581 763**

51 Int. Cl.:

C10M 111/04 (2006.01)

C10M 111/02 (2006.01)

B23Q 11/10 (2006.01)

C10M 111/00 (2006.01)

C10M 171/00 (2006.01)

C10M 169/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.04.2006 E 06751815 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.06.2016 EP 1885827**

54 Título: **Método para lubricar metal basado en dióxido de carbono supercrítico**

30 Prioridad:

29.04.2005 US 676531 P

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

07.09.2016

73 Titular/es:

**THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF MICHIGAN (100.0%)
Office of Technology Transfer, Wolverine Tower
Room 2071, 3003 South State Street
Ann Arbor, MI 48109-1280, US**

72 Inventor/es:

**SKERLOS, STEVEN J.;
HAYES, KIM F. y
CLARENS, ANDRES**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

Observaciones :

Véase nota informativa (Remarks) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 2 581 763 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

Método para lubricar metal basado en dióxido de carbono supercrítico.

5 Esta invención se hizo en el transcurso de una investigación respaldada por una subvención de la National Science Foundation (NSF), Subvención N° DMII 0093514; y de la National Science Foundation (NSF)/Environmental Protection Agency (EPA), Subvención N° RD 83134701. El Gobierno de Estados Unidos posee ciertos derechos en la invención.

10 **Antecedentes**

La presente divulgación se refiere a la metalurgia, y más particularmente a lubricantes para metalurgia.

15 Los fluidos metalúrgicos (MWF) lubrican y enfrían el metal durante diversos procesos metalúrgicos (algunos ejemplos no limitantes de los cuales incluyen procesos de corte, procesos de conformación, etc.) y son útiles para una adecuada función de los procesos. Específicamente, los MWF aumentan la vida de las herramientas, substancialmente aseguran el correcto acabado de la superficie, permiten velocidades más rápidas de fabricación y reducen el consumo de energía durante el mecanizado. Por lo general, son emulsiones de aceite en agua, donde el aceite lubrica y el agua enfría la zona de corte. Sin embargo, la
20 mezcla de aceite y agua tiene el potencial de hacer que los MWF sean una preocupación medioambiental y de salud laboral. Esto puede deberse, al menos en parte, a los metales, componentes orgánicos y microorganismos que pueden acumularse en estos fluidos y los aerosoles que se pueden formar cuando se pulverizan en gran exceso en procesos de mecanizado. Los aerosoles que pueden formarse a partir de estas soluciones oleosas reducen la calidad del aire en el lugar de trabajo y pueden, en algunos casos, afectar potencialmente de forma aguda y/o crónica en la piel y los pulmones de los trabajadores. Las
25 emulsiones de aceite en agua tienden a degradarse con el tiempo como resultado de ataques microbianos y la acumulación de iones de agua dura, lo que puede plantear un problema de tratamiento de residuos, particularmente si la mezcla contiene aditivos tóxicos. Por lo tanto, los MWF pueden convertirse en un problema de residuos peligrosos cuando llegan al final de su vida útil. Pueden eliminarse substancialmente muchos problemas ambientales y de salud asociados potencialmente con los MWF si la lubricación puede
30 proporcionarse en una cantidad mínima usando un disolvente distinto de agua.

Como tal, sería conveniente proporcionar una lubricación metalúrgica en la mínima cantidad necesaria usando un disolvente distinto de agua. Tal disolvente alternativo ventajosamente puede reducir o eliminar
35 los problemas asociados con los MWF a base de agua y, posteriormente, la necesidad de sistemas de mantenimiento o tratamiento de MWF tradicionales tales como bombas y sistemas de separación. Además, la distribución de una lubricación de cantidad mínima puede conservar recursos, mantener la operación del proceso de alta calidad más consistente, y reducir las emisiones durante el ciclo de vida, mientras que substancialmente facilita substancialmente la eliminación de riesgos para la salud y problemas
40 de deterioro potencialmente asociados a los MWF a base de agua tradicionales.

El documento WO 97/25393 A1 desvela un método para un trabajo mecánico con una composición de enfriamiento y lubricante que contiene dióxido de carbono y un lubricante polar.

45 El documento JP 2005 060473 A desvela un método para modificar un artículo moldeado de plástico usando dióxido de carbono supercrítico y un lubricante.

El documento US 5 603 655 A desvela un método y un aparato para el procesamiento de una pieza de trabajo que comprende aplicar una masa de burbujas de un líquido de trabajo al área de contacto entre la
50 herramienta de trabajo y una pieza de trabajo.

Sumario

55 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un método para lubricar una pieza de trabajo de metal para un proceso metalúrgico, comprendiendo el método:

distribuir dióxido de carbono supercrítico a una boquilla (N); y
pulverizar expandiendo rápidamente el dióxido de carbono de la boquilla sobre la pieza de trabajo
60 de metal (P) durante el proceso metalúrgico.

Ventajosamente, un lubricante se mezcla con el dióxido de carbono supercrítico antes de la distribución a la pieza de trabajo.

65 Preferiblemente, el lubricante se selecciona entre aceites minerales, aceites vegetales, ésteres, glicoles, ácidos grasos, y combinaciones de los mismos.

Convenientemente, el proceso metalúrgico es un proceso de corte, y en el que las virutas de metal

formadas durante el proceso de corte se evacuan durante la distribución del dióxido de carbono supercrítico.

5

Preferiblemente, la pieza de trabajo se enfría durante la distribución del dióxido de carbono supercrítico.

Ventajosamente, la distribución de dióxido de carbono supercrítico realiza al menos una de una microlubricación o nanolubricación de la pieza de trabajo de metal.

10

Convenientemente, el método comprende adicionalmente distribuir al menos uno de aire comprimido o gas inerte como una pulverización de enfriamiento liberado a presión a la pieza de trabajo durante el proceso metalúrgico para proporcionar un enfriamiento adicional.

Breve descripción de los dibujos

15

Los objetos, características y ventajas de las realizaciones de la presente invención se harán evidente por referencia a la siguiente descripción detallada y los dibujos, en los que:

20

La figura 1 es un diagrama esquemático que muestra un diseño experimental que incorpora una realización de la presente divulgación;

la figura 2A es una fotografía de una prueba de esfuerzo de torsión de aterrajado usando MWF a base de agua;

la figura 2B es una fotografía de a prueba de esfuerzo de torsión de aterrajado usando MWF a base de scCO₂ de acuerdo con una o más realizaciones de la presente divulgación;

25

la figura 3 es un gráfico que representa la eficiencia del esfuerzo de torsión de aterrajado para los siguientes MWF a base de agua y MWF a base de scCO₂: scCO₂ en solitario (3A); microemulsión de MWF de petróleo (3B); microemulsión de MWF de aceite de soja (3C); aceite de soja en solitario (3D); y aceite de soja en scCO₂ (3E);

30

la figura 4a es un micrógrafo electrónico de barrido (SEM) que muestra una imagen aumentada de una superficie de viruta en una pieza de acero 1018 laminado en frío cortado con scCO₂ en solitario;

la figura 4b es un SEM que muestra una imagen aumentada de una superficie de viruta en una pieza de acero 1018 laminado en frío cortado con microemulsión de MWF de petróleo;

la figura 4c es un SEM que muestra una imagen aumentada de una superficie de viruta en una pieza de acero 1018 laminado en frío cortado con microemulsión de MWF de aceite de soja;

35

la figura 4d es un SEM que muestra una imagen aumentada de una superficie de viruta en una pieza de acero 1018 laminado en frío cortado con aceite de soja en solitario; y

la figura 4e es un SEM que muestra una imagen aumentada de una superficie de viruta en una pieza de acero 1018 laminado en frío cortado con aceite de soja en scCO₂.

40

Descripción detallada de las realizaciones

45

Los presentes inventores han descubierto inesperadamente y de forma fortuita que puede usarse dióxido de carbono supercrítico (scCO₂) como un lubricante eficaz y un vehículo lubricante en procesos/operaciones de metalurgia, tales como, por ejemplo, corte y conformación. Además, scCO₂

50

proporciona una lubricidad básica mejor en metalurgia que el agua y se ha descubierto que scCO₂ en solitario tiene una lubricidad sustancialmente similar a la de los fluidos metalúrgicos semi-sintéticos básicos (MWF), al menos en una aplicación de mecanizado. Los lubricantes tales como aceites directos, es decir, aceites sin la adición de agua, están entre los lubricantes mejor conocidos para la mayor parte de los procesos. No obstante, los presentes inventores han descubierto también que la combinación de

55

scCO₂ y los lubricantes es ventajosamente sinérgica, es decir, la lubricidad medida a partir de la combinación proporciona sustancialmente una mejor lubricidad que la lubricidad de cualquiera cuando se mide en solitario. Esto también ha demostrado se cierto incluso si se aplica menos aceite en el sistema cuando se distribuye en scCO₂. Por ejemplo, se ha descubierto un rendimiento mejorado (con el sistema de distribución de scCO₂) en comparación con el mismo aceite con y sin el sistema de distribución de

60

scCO₂ pero, ventajosamente, estos resultados mejorados se han descubierto con menos cantidades del mismo aceite cuando se usa con el sistema de distribución de scCO₂. Aún adicionalmente, los presentes inventores también contemplan que el método o métodos de acuerdo con una o más realizaciones en el presente documento también pueden eliminar ventajosamente las virutas (evacuación de virutas) durante los procesos de corte, reducir el desgaste de las herramientas, proporcionar resistencia a la corrosión, y

65

mejorar el acabado de la superficie en ciertos sistemas.

Aunque el CO₂ supercrítico se está convirtiendo en un constituyente importante en la industria farmacéutica y la industria de los semiconductores, y en los procesos de extracción por ingeniería química, procesos de grabado y procesos de limpieza, hasta la fecha el scCO₂ no ha demostrado tener un uso ventajoso en la industria metalúrgica. Como se muestra en el presente documento, pueden añadirse lubricantes de scCO₂ y/o los fluidos lubricantes a base de scCO₂ a una región de corte en cantidades sustancialmente controladas, mejorando de esta manera la eficiencia y la recuperación, y reduciendo la

cantidad de materias primas necesarias para hacer los fluidos. Por lo tanto, el uso de scCO₂ puede verse como una nueva clase de tecnología de micro/nano-lubricación que puede ser compatible con todas las operaciones de corte y conformado de metal. También está dentro del alcance de la presente divulgación añadir más aceite (es decir, sin limitarse a la micro/nano-lubricación) a la zona de siderurgia, si se desea.

5

Aún adicionalmente, un método o métodos de dispensación novedosos, como se desvela en el presente documento, crean sustancialmente un efecto de sobrefusión (por ejemplo, a través de hielo seco), además de la distribución sustancialmente mejorada de lubricantes (cuando se usa uno o más lubricantes adicionales, por ejemplo, aceite, oil, como el lubricante junto con el scCO₂). Para operaciones de mecanizado en las que los requisitos de enfriamiento son mayores que los que se cumplen usando enfriamiento con hielo seco, el sistema scCO₂ puede acoplarse opcionalmente con un pulverizador de aire comprimido o nitrógeno u otro gas inerte como un pulverizador de enfriamiento liberado a presión para proporcionar un enfriamiento adicional.

10

15

Se entenderá que, cuando la formulación o formulaciones de CO₂ supercrítico de la presente o presentes realizaciones alcanzan la zona metalúrgica, ya no son supercríticos; no obstante, el lubricante o lubricantes se dispersan muy finamente y, por lo tanto, son capaces de alcanzar la zona metalúrgica (por ejemplo, la zona de corte) mejor de lo que de otro modo podrían tener la formulación de no haber sido originalmente supercrítica. La mayor liberación de presión también conduce generalmente a más enfriamiento por masa de lubricante distribuido que las formulaciones no supercríticas.

20

Como se describe más completamente en el presente documento, se entenderá que la presente divulgación no pretende limitarse a ninguna operación de mecanizado y/o conformación; es decir, el proceso de aterrajado descrito es únicamente un ejemplo de muchas operaciones de mecanizado para las que la realización o realizaciones de las presentes composiciones se contemplan como útiles. Además, se entenderá que la presente divulgación no pretende limitarse a ninguna única formulación/composición de los lubricantes de la presente realización o realizaciones. Se contempla como dentro del alcance de la presente divulgación que, además de scCO₂ en solitario, muchos aceites, ésteres, ácidos grasos, aceites fluorados, copolímeros de bloque, tensioactivos, líquidos iónicos, y otros compuestos pueden ser adecuados para su uso en los lubricantes a base de scCO₂ de la presente realización o realizaciones, como aceites disueltos o dispersos en scCO₂, o emulsionados usando tensioactivos diseñados para una emulsificación en sistemas CO₂. También se contempla como dentro del alcance de la presente divulgación que pueden añadirse opcionalmente aditivos secundarios a los lubricantes de la presente realización o realizaciones. Algunas clases de aditivos secundarios que son generalmente útiles en operaciones de mecanizado de metal son los inhibidores corrosión, aditivos de presión extrema, lubricantes de contorno, y/o aditivos antidesgaste, reconociendo que algunos tipos dentro de estas clases individuales pueden no ser solubles en CO₂ y, por lo tanto, pueden no ser útiles para esta aplicación. Aún adicionalmente, se entenderá que el método o métodos y composiciones/formulaciones de la presente realización o realizaciones pueden ser útiles para el corte de metal (cuyos ejemplos no limitantes incluyen taladrado, perforación, torneado, fresado, aterrajado, brochado, roscado, cepillado, cizalladura, escariado, y/o similares), así como para la conformación de metales (cuyos ejemplos no limitantes incluyen estampación, embutición, laminado, extrusión, forjado, y/o similares).

25

30

35

40

45

Como se usa en el presente documento, el término "metalurgia" pretende incluir todas las operaciones de trabajo del metal, cuyos ejemplos son corte de metal y conformación de metal. "Enfriamiento", "refrigerante", o términos similares pretenden incluir el fenómeno de enfriar la pieza de trabajo de metal debido, al menos en parte, a una rápida expansión del dióxido de carbono en/adyacente a la boquilla. La una o más composiciones/formulaciones que se describen en el presente documento pretenden incluir cualquiera de tales lubricantes, además del propio scCO₂, que se disuelven y/o se dispersan y/o emulsionan mediante cualquier medio adecuado en scCO₂.

50

Como se analiza en más detalle a continuación en el presente documento, las imágenes SEM muestran en las figuras 4a - 4e, y los datos del esfuerzo de torsión de aterrajado mostrados en la figura 3 están íntimamente relacionados. Las superficies de tierra son indicativas de mayor fricción; una alta fricción equivale a mayor esfuerzo de torsión; y un esfuerzo de torsión más alto equivale a una menor eficiencia del esfuerzo de torsión de aterrajado. La comparación de la figura 3 y las figuras 4a - 4e muestra claramente esta relación. Como tal, a partir de los datos mostrados en el presente documento, puede observarse que la eficiencia del esfuerzo de torsión de aterrajado es un indicador fiable del potencial de lubricidad.

55

60

Además, el método o métodos de la realización o realizaciones en el presente documento también eliminan ventajosamente las virutas (evacuación de virutas) durante los procesos de corte, permitiendo de este modo una penetración más profunda del lubricante o lubricantes de las presentes realizaciones. Tal evacuación de virutas puede deberse, al menos en parte, a la presión del presente método o métodos. Se entenderá que la penetración más profunda del lubricante o lubricantes también puede deberse a la dispersión tan fina y la alta presión de la liberación de dióxido de carbono, permitiendo que gotas muy pequeñas lleguen más profundo en las zonas de corte y de evacuación de virutas. Adicionalmente, el

65

scCO₂ tiene una tensión superficial inferior que el agua y se sabe reduce la tensión superficial de los fluidos en los que se disuelve, aumentando adicionalmente la capacidad de penetración de los lubricantes distribuidos en CO₂.

5 Se han desarrollado varias formaciones a base de vegetales como alternativas a las formulaciones a base de petróleo. Se usa la prueba de esfuerzo de torsión de aterrajado para comparar el rendimiento de los nuevos lubricantes a base de vegetales y/o scCO₂ con los MWF a base de petróleo y agua usados actualmente. Se cree que los datos presentados en el presente documento son los primeros que demuestran la viabilidad de los MWF a base de CO₂.

10 Son deseables aceites vegetales para su uso en aplicaciones MWF ya que proceden de materias primas renovables (lo que reduce la dependencia del aceite exterior), son menos tóxicos durante su uso y al final de su vida útil, y han demostrado ser más estables y más fáciles de reciclar en condiciones de campo. También pueden ser particularmente adecuados para aplicaciones médicas (por ejemplo, mecanizado de
15 productos médicos) ya que se usan materiales sustancialmente no tóxicos, así como para operaciones tradicionales. Los aceites vegetales también han demostrado ser mejores lubricantes de los aceites minerales. Además, el CO₂ se secuestra cuando se cultivan materias primas vegetales. Aunque están disponibles en el mercado numerosas materias primas, se seleccionaron tres aceites a base de vegetales comunes y dos aceites a base de petróleo común como ilustraciones para los experimentos descritos en
20 el presente documento. Son: aceite mineral nafténico, una mezcla 50/50 de aceite mineral nafténico y parafínico, aceite de soja, aceite de canola (contenido oleico al 75 %), y un éster TMP (un éster de poliol hecho haciendo reaccionar una mezcla de ácidos grasos nC8 y nC10 con trimetilolpropano puede denominarse como un éster "TMP"). Los cinco aceites se ensayaron como aceites directos, y como MWF solubles den aceite soluble y semi-sintéticos, para entender los impactos de la emulsificación sobre el
25 rendimiento del aceite base. El rendimiento de mecanizado se evaluó usando una modificación a la prueba de esfuerzo de torsión de aterrajado convencional (ASTM D 5619). El rendimiento de los MWF se expresa relativo a un MWF disponible en el mercado usando la métrica "eficiencia del esfuerzo de torsión de aterrajado". Una mayor eficiencia indica un mejor rendimiento en la prueba de esfuerzo de torsión de aterrajado y ha demostrado ser una métrica adecuada para el rendimiento de campo (como se analiza en
30 más detalle a continuación).

Se realizaron más de 25 experimentos de esfuerzo de torsión de aterrajado para cada fluido de prueba para establecer una estimación estadística del error experimental. Los resultados indican que como
35 aceites directos, todas las reservas a base de vegetales rinden mejor que los aceites minerales. Esta tendencia se mantiene, aunque mucho menos pronunciada, después de emulsionar las reservas vegetales en MWF solubles en aceite y semi-sintéticos. Los resultados también indican que algunas reservas a base de aceite vegetal tienen un mayor potencial de lubricidad que otros, revelando los datos que la soja y el éster TMP proporcionan una mejor eficiencia del esfuerzo de torsión de aterrajado con respecto al aceite de canola en MWF emulsionados. Se apreciará que los experimentos anteriores se
40 realizaron para mostrar que los MWF a base de vegetales (no formulados en scCO₂) rinden tan bien o mejor que los MWF a base de petróleo.

La investigación también produjo dispersiones estables de scCO₂ y aceite de soja que pueden utilizarse como MWF. Estas dispersiones pueden pulverizarse sobre la zona de corte para aplicar lubricidad
45 localmente con una cantidad controlada. Además de proporcionar lubricación, el CO₂ de rápida expansión proporciona una capacidad de enfriamiento superior con respecto al agua. Además, la liberación de presión de CO₂ también proporciona una función de evacuación de viruta conseguida previamente usando agua como el vehículo para trabajar los constituyentes del MWF.

50 La temperatura y presión supercríticas del CO₂ (T_c = 31,1 °C y P_c = 72,8 atm) se consigue fácilmente en entornos industriales. En estas condiciones, el CO₂ es un buen disolvente para muchos materiales, y se apreciará que algunos aceites a base de vegetales son altamente solubles en CO₂.

Para probar la viabilidad de los MWF a base de scCO₂, se desarrolló una dispersión de aceite de soja en
55 scCO₂ y se ensayó usando el método de esfuerzo de torsión de aterrajado con respecto a la microemulsión de MWF de aceite de soja. La figura 1 ilustra una realización de un diseño experimental 10 que incorpora una realización de la presente divulgación. Se apreciará que ésta es una realización no limitante, y que algunos de los elementos enumerados a continuación pueden no ser necesarios y/o, si se desea, pueden añadirse elementos adicionales. En la figura 1, la letra A representa un depósito de dióxido de carbono de calidad alimentaria (Cryogenic Gases, MI); la letra B representa una válvula de retención; la letra C representa un intensificador de presión (High Pressure Equipment, PA); la letra D representa un manómetro; la letra E representa una válvula de seis vías (Valco Instruments, TX); la letra F representa una entrada de aceite; la letra G representa una bobina de volumen fija; la letra H representa un recipiente de alta presión; la letra I representa un elemento de calentamiento; la letra J representa un termopar (Omega, Stamford, CT); la letra K representa un transductor de presión (Zook Enterprises, OH); la letra L
60 representa un ordenador; la letra M representa una válvula solenoide (Clark Cooper, NJ); la letra N representa una boquilla; la letra O representa una máquina de esfuerzo de torsión de aterrajado; la letra P

representa una pieza de trabajo de acero; y las letras V1 - V3 representan válvulas de aguja.

En una realización del diseño 10, el CO₂ del depósito A puede presurizarse a presiones supercríticas por un intensificador de presión C. Puede añadirse aceite a través de la entrada F al CO₂ presurizado usando la válvula E, que puede ser cualquier válvula o dispositivo adecuado. La mezcla de CO₂ presurizado y aceite puede pasar después al recipiente H, que puede ser cualquier dispositivo adecuado para contener la mezcla presurizada. El aceite puede salir del recipiente H y pasar a través de una válvula solenoide M antes de pulverizarse por la boquilla N y sobre la región metalúrgica, tal como una pieza de trabajo de acero P en una máquina de esfuerzo de torsión de aterrajado O.

El ordenador L, que puede ser cualquier dispositivo informático adecuado, puede usarse para controlar el accionamiento de la válvula solenoide M y/o para registrar datos de la máquina de esfuerzo de torsión de aterrajado O. El ordenador L también puede usarse para supervisar/controlar las condiciones operativas/ambientales en el interior del recipiente H. El ordenador L puede recibir datos de temperatura del termopar J y/o datos de presión del dispositivo detector de temperatura. El ordenador L puede estar en comunicación con un elemento de calentamiento I y un transductor de presión K, ambos de los cuales pueden estar en comunicación con el recipiente H, por lo que si la temperatura o la presión en el interior del recipiente H está fuera de un intervalo predeterminado, el ordenador manda al elemento de calentamiento I y/o el transductor de presión K a corregir las condiciones ambientales para corresponder con el intervalo predeterminado.

En otra realización de un diseño experimental 10, el aceite puede añadirse a, y mezclarse con CO₂ presurizado en el recipiente H en lugar de, o además de, el aceite añadido a través de la entrada de aceite F a la válvula E. En tal realización, puede incluirse una barra de agitación en el recipiente H para facilitar la mezcla del CO₂ y el aceite.

La figura 2A ilustra una prueba de esfuerzo de torsión de aterrajado usando MWF a base de agua 12 distribuidos a través de la boquilla 18, y la figura 2B muestra la misma prueba utilizando MWF a base de scCO₂ 14 distribuidos a través de la boquilla 18'. La prueba de esfuerzo de torsión de aterrajado de las figuras 2A y 2B se realiza con una herramienta de prueba de esfuerzo de torsión de aterrajado 22 que tiene una tuerca de bloqueo 24 y una tuerca para el espécimen 26. El exceso de MWF a base de agua 28 es visible en la figura 2A, por lo que la prueba mostrada en la figura 2B usando MWF a base de scCO₂ 14 generalmente no tiene dicho exceso de fluido. Se apreciará que la prueba ilustrada en la figura 2B puede proporcionar mayor lubricación y potencial para reducir las velocidades de aplicación mientras que distribuye menos volumen de fluido 14 a la región metalúrgica.

El gráfico de la figura 3 ilustra la eficiencia del esfuerzo de torsión de aterrajado para MWF a base de agua y MWF a base de scCO₂. Los resultados muestran que el aceite de soja en scCO₂ (3E) rinde aproximadamente un 20 % mejor que una microemulsión de MWF de aceite de soja (3C), como se analiza adicionalmente a continuación en el presente documento. El aumento dramático del rendimiento observado alcanzó un nivel de rendimiento en la prueba de esfuerzo de torsión de aterrajado no observado previamente. Aunque el CO₂ es económico, no inflamable, benigno para el medio ambiente, y puede eliminarse fácilmente de los productos, ha demostrado ser un colaborador potencial para el calentamiento global antrópico. Sucede que, este inconveniente, es relativamente pequeño en la aplicación propuesta ya la mayoría del CO₂ usado en la industria es un subproducto de otros procesos. En efecto, el uso de CO₂ en procesos industriales aprovecha realmente un abundante flujo de residuos en lugar de crear demanda de otro contaminante. Por lo tanto, con respecto a los peligros existentes de los sistemas MWF para la salud humana y el medio ambiente, el potencial del calentamiento global incremental de la tecnología de MWF scCO₂ no es sustancialmente significativo.

Esta divulgación muestra un nuevo método o métodos para lubricar, enfriar y/o evacuar virutas en operaciones metalúrgicas usando dióxido de carbono supercrítico (scCO₂). Se han usado tradicionalmente fluidos metalúrgicos a base de agua (MWF) para realizar estas funciones, a pesar de que el uso de agua puede conducir a altos costes económicos, de salud laboral y medioambientales. El dióxido de carbono, por encima de su temperatura y presión supercríticas, es un disolvente ajustable que disuelve ciertos aceites. Esto significa que el aceite puede distribuirse en espacios intersticiales previamente inaccesibles para los chorros de agua. La dispersión de aceite en CO₂ puede pulverizarse por una boquilla a alta velocidad para distribuir el aceite y formar hielo seco y la zona de corte, como se muestra en la figura 2B. La rápida expansión del CO₂ conduce a un enfriamiento a temperaturas criogénicas. Esta rápida expansión de CO₂ y/o soluciones en CO₂ se enfrían significativamente como resultado de la caída de la presión y pueden alcanzar temperaturas por debajo de aproximadamente -80 °C. Se forma un revestimiento uniforme del material solubilizado sobre la superficie de pulverización según el CO₂ se calienta y se volatiliza. Las mediciones de la eficiencia del esfuerzo de torsión de aterrajado mostraron que los nuevos fluidos a base de scCO₂ rinden hasta un 20 % mejor que los fluidos acuosos convencionales en cuanto a la eficiencia del esfuerzo de torsión de aterrajado. Las imágenes del microscopio electrónico de barrido (SEM) de las virutas producidas en la operación de aterrajado sugieren que el scCO₂ es un mecanismo de distribución de lubricante mejor que el agua, como se describe

adicionalmente a continuación en el presente documento. Además, cuando se distribuyen en scCO₂, los aceites directos muestran mayor rendimiento que cuando se aplican a presiones convencionales.

Para ilustrar adicionalmente la realización o realizaciones de la presente divulgación, se proporcionan en el presente documento diversos ejemplos. Se apreciará que estos ejemplos se proporcionan para fines ilustrativos y no han de interpretarse como limitantes del alcance de la realización o realizaciones desveladas.

Ejemplos

Método de la prueba de esfuerzo de torsión de aterrajado

El rendimiento de mecanizado de los MWF desarrollados como se desvela en el presente documento se midió a través de la prueba de esfuerzo de torsión de aterrajado usando una máquina herramienta MicroTap Mega G8 (Rochester Hills, MI) a una velocidad de mecanizado de 1000 RPM en piezas de trabajo de acero 1018 que se perforaron previamente y se escarificaron previamente con 240 orificios M6 (Maras Tool, Schaumburg, IL). Se realizó el aterrajado usando terrajas de acero de alta velocidad (HSS) sin revestir (para acero 1018), con 60° de pendiente y 3 estrías rectas. Las evaluaciones de MWF se realizaron de acuerdo con la Norma ASTM D 5619, el estándar para comparar los fluidos de eliminación de metal usando la máquina de prueba de esfuerzo de torsión de aterrajado con varias modificaciones hechas para explicar el uso de un lecho de prueba de evaluación de MWF que permite múltiples evaluaciones en una única pieza de trabajo. El rendimiento de los MWF se indica aquí como el porcentaje de la eficiencia del esfuerzo de torsión de aterrajado (%), que es un esfuerzo de torsión medio medido durante el acoplamiento completo de la herramienta normalizado a la torsión media medida para un MWF de referencia. Una mayor eficiencia indica un mejor rendimiento en la prueba de esfuerzo de torsión de aterrajado, y ha demostrado ser una métrica adecuada para el rendimiento de campo como se analiza a continuación.

Lecho de prueba de dióxido de carbono supercrítico

Se diseñó por los presentes inventores un lecho de prueba experimental para fabricar MWF a base de scCO₂ y aplicarlos a la región de corte de una máquina de esfuerzo de torsión de aterrajado. Haciendo referencia de nuevo a la figura 1, como se ha descrito previamente, un diagrama esquemático del diseño experimental se designa generalmente como 10.

El CO₂ se aumento de aproximadamente 4.826 kPa absolutos (-700 psia) a presiones supercríticas mayores de 7.377 kPa (>1070 psia) por el intensificador de presión C. Se añadió aceite a la mezcla a través de la entrada F usando una válvula de 6 vías E, y la mezcla se almacenó en un recipiente de alta presión H. El recipiente de volumen de 25 ml H tenía dos ventanas de zafiro para ver la mezcla. La mezcla discurrió a través de la salida del recipiente de presión H y pasó a través de una válvula solenoide automatizada M antes de pulverizarse por la boquilla N y sobre la región de corte de torsión de aterrajado. Se usó un ordenador personal L para controlar las condiciones operativas en el recipiente de alta presión H, para controlar el accionamiento de la válvula solenoide M, y para registrar los datos de la máquina de esfuerzo de torsión de aterrajado O.

Los fluidos a base de scCO₂ se aplicaron a la zona de corte simultáneamente con el acoplamiento de la herramienta de aterrajado en la superficie de la pieza de trabajo en bruto. La válvula M se abrió durante 2 segundos para permitir a la máquina O realizar todo el proceso de aterrajado mientras se pulverizada con la mezcla MWF. Para cada prueba que usó los fluidos de CO₂, el recipiente H se llevó a aproximadamente 10,34 MPa absolutos (1500 psia) y 35°C, y el contenido del recipiente H se dejó equilibrar durante tres minutos. Como se ha indicado anteriormente en el presente documento, se muestran unas fotografías del proceso de corte usando MWF a base de agua y a base de scCO₂ en las figuras 2A y 2B, respectivamente. En ambos casos, la válvula M se liberó durante la duración del acoplamiento de la herramienta. Se observa en la figura 2A que el proceso acuoso, distribuido a 138 kPa de presión (20 psig), distribuye un exceso de MWF 12. El diseño de la figura 2B, aunque distribuye menos volumen de fluido 14, proporciona una mayor lubricación y el potencial de reducir una velocidad de aplicación de aceite incluso inferior a través del proceso de optimización. Después del corte, la presión en el recipiente H era típicamente de aproximadamente 6,21 MPa absolutos (900 psia), y se suministró más CO₂ al recipiente H para devolver la presión a aproximadamente 10,34 MPa absolutos (1500 psia). Se añadió más cantidad de aceite después de cada seis experimentos de aterrajado.

Formulaciones

Las formulaciones de MWF a base de agua se desarrollaron usando aceite de soja y aceite mineral. Las formulaciones a base de agua se basan en una formulación proporcionada por un proveedor de MWF comercial. Una eficiencia del esfuerzo de torsión de aterrajado del 100 % representa la eficiencia del esfuerzo de torsión de aterrajado de un MWF soluble en agua adquirido en tal proveedor de MWF

comercial. Los MWF se produjeron en primer lugar de forma concentrada, y después se diluyeron hasta una concentración de trabajo en agua desionizada. Este procedimiento de formulación es coherente con la manera en la que los MWF acuoso se preparan y se utilizan en la práctica. Las composiciones usadas para cada una de las formulaciones acuosas, así como las formulaciones de acuerdo con las presentes realizaciones, se presentan en la Tabla 1.

5

Tabla 1

Componente	scCO ₂	Aceite mineral en agua	Microemulsión de MWF de aceite de soja	Aceite de soja	Aceite de soja en scCO ₂
Aceite de soja			0,72 %	100 %	1 %
Aceite mineral		0,72 %			
Tomadol 91 (Tensioactivo no iónico)		1,56 %			
Tagat V20 (Tensioactivo no iónico)			1,38 %		
Dowfax (Tensioactivo aniónico)		0,14 %	0,21 %		
Acoplador		0,07 %	0,10 %		
ScCO ₂	100 %				99 %
Agua		97,50 %	97,59 %		

Ambas formulaciones a base de agua se hicieron con un tensioactivo aniónico y/o no iónico, pero la estructura y la cantidad de tensioactivo se modificó ligeramente entre aceites para conseguir una emulsión estable. Ambas formulaciones a base de agua contenían acoplador como emulsionante secundario.

10

La formulación a base de scCO₂ se hizo inyectando aceite de soja en un recipiente de alta presión H a concentraciones comparables a las de los fluidos a base de agua. El contenido del recipiente H se agitó usando una barra de agitación, y la presión y la temperatura se mantuvieron por encima de los valores supercríticos para CO₂. Todos los componentes de fluido se usaron como se entregaron por el fabricante y se sometieron a las mismas condiciones de manipulación y almacenamiento. Los aceites base usados en las formulaciones eran un aceite nafténico a base de petróleo y un aceite de soja (aceite de soja refinado alcalino, Cargill Inc., Minneapolis, MN). Los tensioactivos para las formulaciones acuosas eran Tagat V20 (un tensioactivo a base de ésteres de ácidos grasos de glicerol disponible en el mercado en Degussa-Goldschmidt Chemical Corporation, Hopewell, VA), Dowfax 3B2 (in tensioactivo de disulfonato disponible en el mercado en Dow Chemical, Midland, MI), y Tomadol 91-6 (un tensioactivo de alcohol etoxilato disponible en el mercado en Tomah Corporation, Milton, WI).

15

20

Aunque no se muestra en la figura 3, también se realizaron pruebas de acuerdo con el "Método de la prueba de esfuerzo de torsión de aterrajado" descrito en el presente documento en acero 1018 de alta velocidad (HSS) usando agua desionizada en solitario como el lubricante. Los resultados de esta prueba mostraron una eficiencia del esfuerzo de torsión de aterrajado de aproximadamente el 50 %.

25

30

Resultados experimentales y análisis

Haciendo referencia ahora a la figura 3, los resultados de los estudios de esfuerzo de torsión de aterrajado muestran que una dispersión de aceite de soja en scCO₂ (como se representa en 3E) rinde aproximadamente un 20 % mejor que una microemulsión de MWF de aceite de soja (como se representa en 3C) en cuanto a la eficiencia del esfuerzo de torsión de aterrajado. El CO₂ supercrítico en solitario (como se representa en 3A) rinde aproximadamente como un MWF de aceite mineral en agua semi-sintético convencional (como se representa en 3B), y mejor que agua en solitario. Una microemulsión de MWF de aceite de soja (en una concentración en aceite de MWF semi-sintético al 0,75 %) rinde también como un aceite mineral al mismo nivel de un aceite soluble convencional (3,4 % de aceite) (no mostrado). El aceite de soja directo, como se representa en 3D, produjo un mejor rendimiento de aterrajado hasta aproximadamente el 12 % sobre el fluido de referencia (el fluido de referencia es un aceite a base de aceite mineral soluble usado en la industria, con cera añadida para una lubricación adicional). El fluido de referencia no se muestra en las figuras, pero da como resultado una eficiencia del esfuerzo de torsión de aterrajado del 100 %.

35

40

45

Si se distribuye aceite de soja en la zona de corta usando scCO₂ como vehículo, el rendimiento del fluido aumenta drásticamente. El rendimiento del fluido de aceite de soja en scCO₂ es significativamente mejor que el aceite de soja emulsionado en agua o incluso el aceite de soja directo. Esto sugiere que, además de aplicar el lubricante y enfriar la región de corte, el scCO₂ tiene beneficios tribológicos que hacen al proceso de corte más eficiente. Con el fin de investigar este fenómeno de propiedades de lubricación mejoradas ofrecidas por los MWF a base de aceite de soja en scCO₂, se tomaron imágenes por

50

microscopio electrónico de barrido de las virutas producidas durante el proceso de aterrajado.

Haciendo referencia ahora a la figura 4, generalmente hablando, las figuras 4a-4e muestran que las virutas producidas en presencia de aceite de soja directo y aceite de soja en scCO₂ tienen menos contacto con las superficies de metal a la salida de la pieza. La similitud de la morfología superficial entre las figuras 4d y 4e sugiere que la dispersión en aceite en el fluido de scCO₂ sale disparada de la boquilla, penetrando la zona de salida de viruta y llenando los espacios vacíos en la parte posterior de la viruta para transportar eficazmente la carga e impedir el contacto de la herramienta con la viruta.

Como se ha indicado anteriormente, cada una de las figuras 4a-4e corresponde con una de 3A-3E, respectivamente. Las imágenes por microscopía electrónica de barrido representativas proporcionadas en la figura 4 muestran claramente que hay mucho más contacto metal-metal en los experimentos de aterrajado caracterizados por valores inferiores de eficiencia del esfuerzo de torsión de aterrajado (por ejemplo, microemulsión de MWF de petróleo, como se muestra en la figura, y microemulsión de aceite de soja, como se muestra en la figura 4c) con respecto a los experimentos caracterizados por valores mayores de eficiencia del esfuerzo de torsión de aterrajado (por ejemplo, mezcla de scCO₂ y aceite de soja, como se muestra en la figura 4e). Por ejemplo, las microemulsiones a base de petróleo muestran marcas de desgaste del proceso de corte que se han triturado planas a la superficie de la viruta, como se muestra en la figura 4b. La imagen también indica estrías y marcas de arañazos que son indicativas de una deficiente lubricación y un contacto metal-metal. Esta fricción significa que ha de suministrarse más torsión para realizar la operación de aterrajado, dando como resultado un valor inferior de la eficiencia del esfuerzo de torsión de aterrajado como se representa en 3B. Por el contrario, el MWF de scCO₂/aceite de soja muestra mucho menos contacto entre la viruta y la pieza de trabajo, como se muestra en la figura 4e. En este caso, el área de contacto se aísla a algunas zonas de relieve elevadas en la superficie de la viruta que no se han triturado debido a la presencia de una lubricación eficaz. Dado que estos resultados se distinguen claramente del uso de aceite de soja en solitario, como se representa en la figura 4d, se cree que la presión del scCO₂ y su capacidad para transportar el aceite de soja disuelto previamente profundamente hasta el proceso de corte, pueden servir para minimizar el contacto entre la viruta y la pieza de trabajo. Esto da como resultado ventajosamente en una fricción inferior y una torsión observada en la operación de aterrajado.

Una de muchas conclusiones extraídas de los experimentos analizados en el presente documento es que los fluidos metalúrgicos hechos a partir de aceite de soja y distribuidos en scCO₂ rinden significativamente mejor que las emulsiones de aceite en agua tradicionales y los MWF de aceite directo.

Aunque se analizaron algunas formulaciones en el presente documento para fines ilustrativos, se entenderá que la novedad demostrada y/o la sinergia obtenida a partir de la utilización de scCO₂ en combinación con lubricantes en mezclas disueltas, dispersas y/o emulsionadas pueden extenderse a numerosas clases de aceites, ésteres, polímeros, ceros y jabones que incluye, pero sin limitación, los siguientes ejemplos: aceites minerales, incluyendo al menos uno de aceites nafténicos, aceites parafínicos, y mezclas de los mismos; aceites vegetales, incluyendo al menos uno de aceite de soja, aceite de colza, aceite de canola, aceite de maíz, aceite de girasol, y mezclas de los mismos; ésteres, polímeros y/o glicoles, incluyendo al menos uno de ésteres de trimetilpropano, polialquilenglicoles, ésteres polimerizados (por ejemplo, ácido monobásico/dibásico, a base de aminas grasas, sulfurado), copolímeros de óxido de etileno/óxido de propileno, polímeros sintéticos y naturales (hidrocarburo, fluorado, clorado), y mezclas de los mismos; así como combinaciones de cualquiera de los anteriores.

Además, el sistema de lubricación de scCO₂ puede incluir aditivos de presión extrema para una lubricación adicional en aplicaciones de conformación y corte de metal con o sin lubricantes primarios que incluyen, pero sin limitación, parafinas cloradas, ceras cloradas, ésteres clorados, ácidos grasos clorados; grasas sulfuradas, olefinas sulfuradas, polisulfuros, compuestos clorados de azufre, sulfonatos sulfurados, ésteres de fosfato, ácidos grasos de fosfato, aminas de fosfato (por ejemplo, alquilo o aromático), y/o combinaciones de los mismos.

Las realizaciones del presente método o métodos y/o composición o composiciones que usan dióxido de carbono supercrítico (scCO₂) están adaptadas para distribuir lubricantes de aceite, lubricantes de contorno, y lubricantes de presión extrema en aplicaciones metalúrgicas. El uso de CO₂ como un lubricante y/o como un sistema de distribución de lubricante ofrece las siguientes ventajas no limitantes: mejor eficiencia y recuperación de metalurgia, reducción de la cantidad de materias primas necesarias para fabricar productos; eliminación sustancial de muchos, si no todos, los inconvenientes asociados a los fluidos metalúrgicos tradicionales (un ejemplo de los cuales incluye su potencial para la contaminación microbiana); eliminación sustancial de la necesidad de biocidas que pueden convertirse en un problema debido a los potenciales peligros de la eliminación de residuos y laborales asociados a la exposición a biocidas en el ámbito de fabricación; eliminación sustancial de los aditivos de fluidos metalúrgicos auxiliares tales como agentes quelantes, que pueden causar problemas de eliminación de residuos; compatibilidad con una amplia diversidad de aceites base tradicionales y no tradicionales tales como aceites fluorados y tensioactivos con alta estabilidad oxidativa, durabilidad y potencial de reutilización,

ES 2 581 763 T3

- 5 aceites vegetales con bajas cargas del ciclo de vida con respecto a las alternativas fósiles y los aceites a base de petróleo con tensioactivos; y un sistema de recuperación eficiente para los aceites y/o tensioactivos que usan $scCO_2$ como el disolvente, lo que puede conducir ventajosamente a un entorno de "fabricación en seco" en el que ya no son necesarios disolventes acuoso y/u orgánicos. Una ventaja adicional es que el método o métodos y/o la composición o composiciones de las presentes realizaciones pueden desechar sustancialmente el desecho de los fluidos metalúrgicos completamente.
- 10 Otras ventajas incluyen, pero sin limitación, una necesidad reducida/eliminada de circulación y mantenimiento de la planta de MWF; aplicaciones que de otro modo dificultan el mecanizado de los metales, tales como aceros duros o titanio; y una aplicación para productos usados en aplicaciones médicas (se usan materiales sustancialmente no tóxicos).
- 15 Aunque se han descrito en detalle varias realizaciones, será evidente para los expertos en la técnica que las realizaciones desveladas pueden modificarse. Por lo tanto, la anterior descripción se considerará ejemplar en lugar de limitante.

REIVINDICACIONES

- 5 1.Un método para lubricar una pieza de trabajo de metal para un proceso metalúrgico, comprendiendo el procedimiento:
distribuir dióxido de carbono supercrítico a una boquilla (N); y
pulverizar expandiendo rápidamente el dióxido de carbono de la boquilla sobre la pieza de trabajo de metal (P) durante el proceso metalúrgico.
- 10 2.El método como se ha definido en la reivindicación 1, en el que un lubricante se mezcla con el dióxido de carbono supercrítico antes de la distribución a la pieza de trabajo.
- 15 3.El método como se ha definido en la reivindicación 2, en el que el lubricante se selecciona entre aceites minerales, aceites vegetales, ésteres, glicoles, ácidos grasos, y combinaciones de los mismos.
- 4.El método como se ha definido en la reivindicación 1, en el que el proceso metalúrgico es un proceso de corte, y en el que las virutas de metal formadas durante el proceso de corte se evacuan durante la distribución del dióxido de carbono supercrítico.
- 20 5.El método como se ha definido en la reivindicación 1, en el que la pieza de trabajo se enfría durante la distribución del dióxido de carbono supercrítico.
- 25 6.El método como se ha definido en la reivindicación 1, en el que la distribución de dióxido de carbono supercrítico realiza al menos una de una microlubricación o nanolubricación de la pieza de trabajo de metal.
- 30 7.El método como se ha definido en la reivindicación 1, que comprende adicionalmente la distribución de al menos uno de aire comprimido o gas inerte como una pulverización de enfriamiento liberado a presión a la pieza de trabajo durante el proceso metalúrgico para proporcionar un enfriamiento adicional.

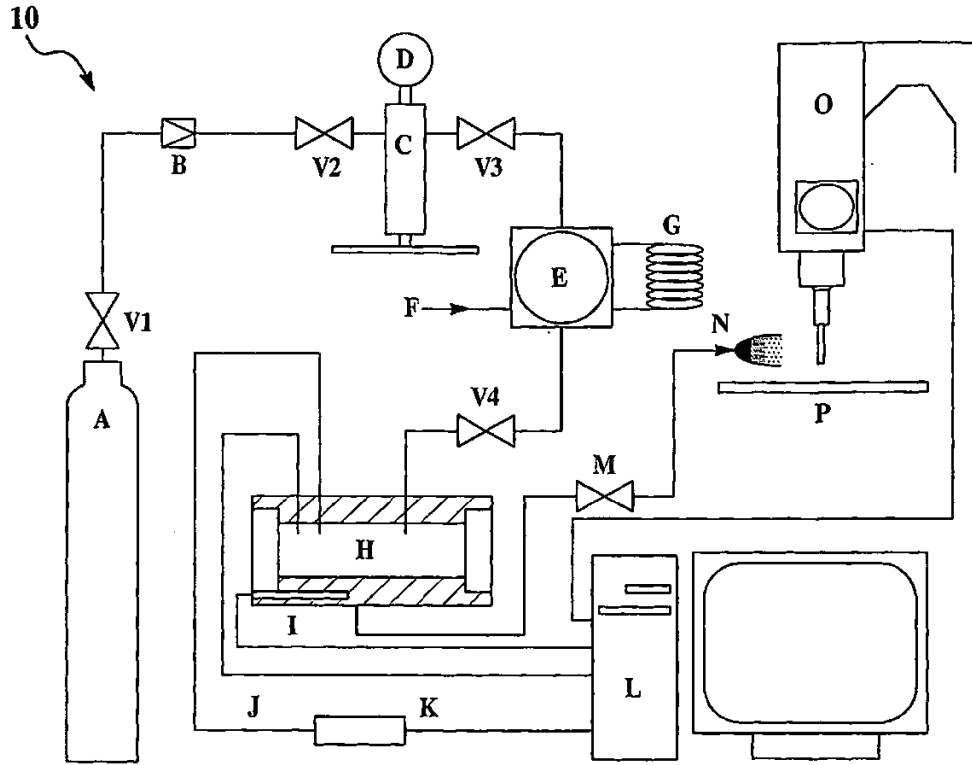


FIG. 1

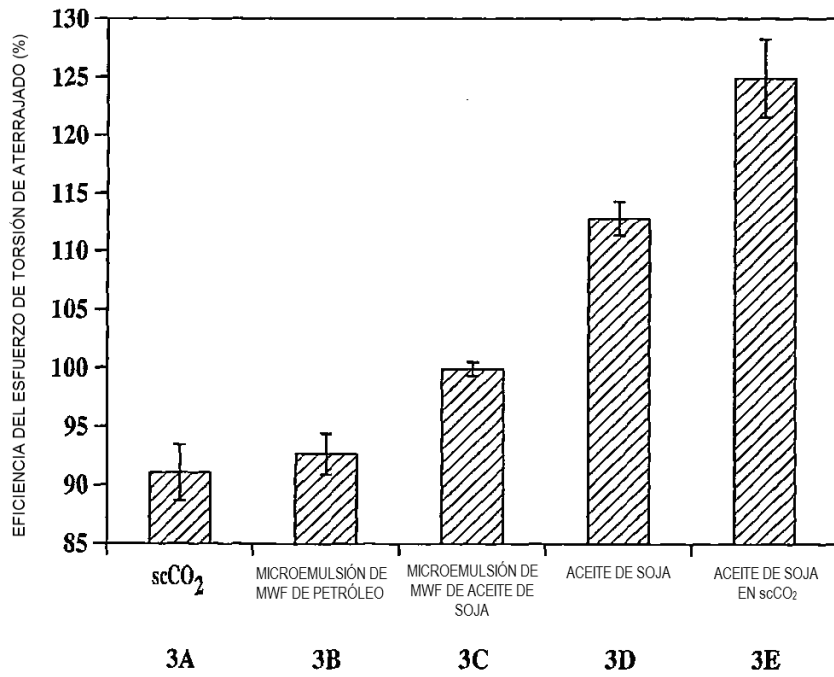


FIG. 3

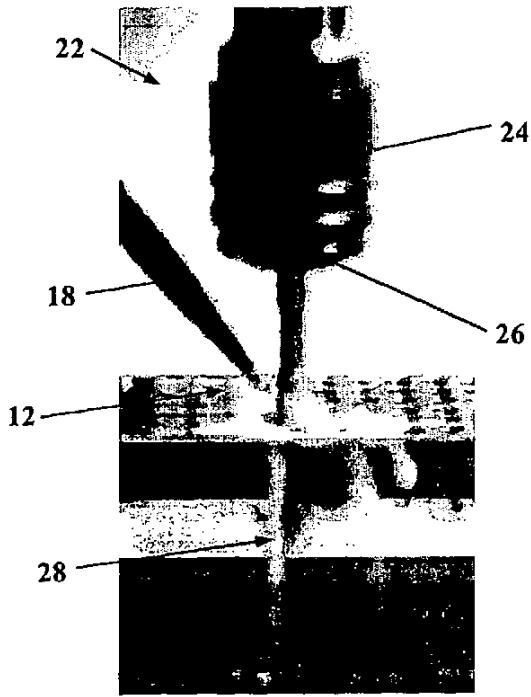


FIG. 2A

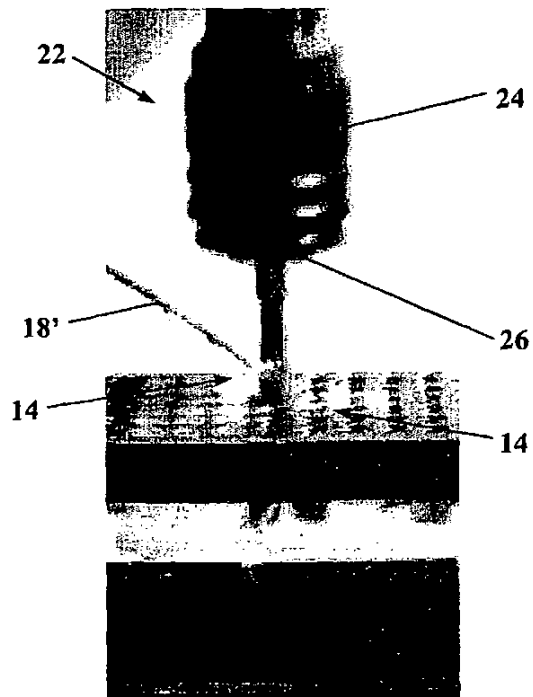


FIG. 2B

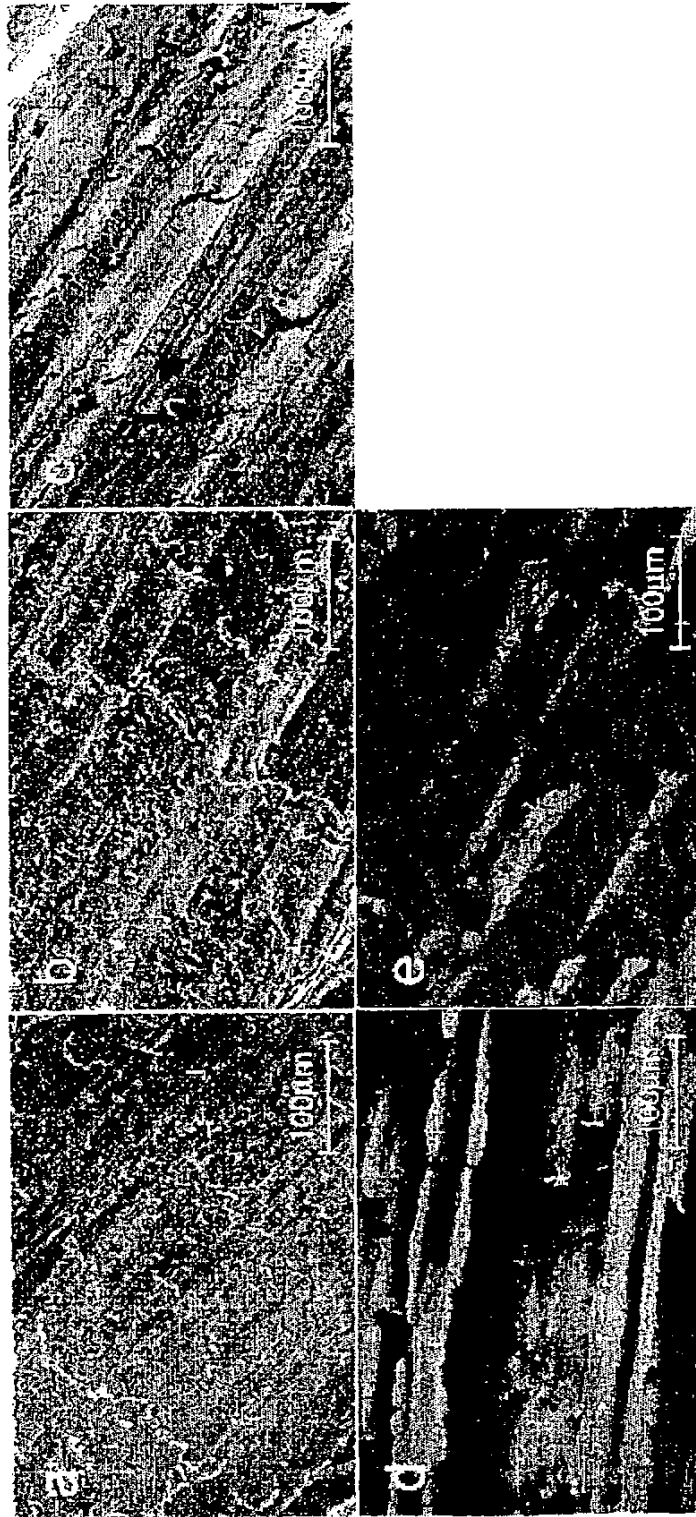


FIG. 4