



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 365 284**

⑮ Int. Cl.:

C22C 38/06 (2006.01)

C22C 38/44 (2006.01)

C22C 38/46 (2006.01)

C22C 38/48 (2006.01)

C22C 38/50 (2006.01)

C22C 38/56 (2006.01)

C22C 38/58 (2006.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑯ Número de solicitud europea: **08707870 .5**

⑯ Fecha de presentación : **11.01.2008**

⑯ Número de publicación de la solicitud: **2126150**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **02.12.2009**

⑭ Título: **Acero de herramientas para trabajo en frío con soldabilidad excepcional.**

⑯ Prioridad: **12.01.2007 EP 07381003**

⑮ Titular/es: **ROVALMA, S.A.**

c/ Apol.lo, 51

**Polígono Industrial Can Perellada
08228 Terrassa, Barcelona, ES**

⑯ Fecha de publicación de la mención BOPI:
28.09.2011

⑯ Inventor/es: **Valls, Isaac**

⑯ Fecha de la publicación del folleto de la patente:
28.09.2011

⑯ Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

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

Acero de herramientas para trabajo en frío con soldabilidad excepcional

Campo de la invención

La presente invención está relacionada con un acero de herramientas martensítico, o al menos parcialmente martensítico, para trabajo en frío con una soldabilidad excepcional y con altos niveles de dureza. El acero muestra una combinación excelente de las propiedades más relevantes del acero de herramientas para trabajo en frío: dureza - tenacidad - resistencia al desgaste.

Resumen

Los aceros de herramientas para trabajo en frío para el conformado de chapas (corte, recorte, punzonado, doblado, estampación, trefilado o embutido) acuñado, estampación, forja, cuchillas para molinos de triturar plástico, cizallado o incluso rodillos de laminar rosca, etc., los cuales a menudo necesitan ser soldados. Incluso antes de que el acero trabaje, durante el proceso de mecanizado de la herramienta en estado recocido, es necesario soldarlo: para corregir fallos de mecanizado, para cambios en el diseño de la pieza a obtener o para modificaciones de la geometría de la matriz para evitar la recuperación elástica y ser capaz de obtener la forma deseada de la pieza.

Cuando la herramienta se ha templado y trabaja, a menudo se suelda para reparar desgastes, deportillado o roturas debido al uso normal de la matriz o debido a un accidente. A veces la reparación mediante soldadura se puede hacer de manera apropiada calentando el segmento de la herramienta, utilizando las distintas capas base necesarias y haciendo un post-tratamiento térmico de la soldadura a la matriz (normalmente consistiendo en un ciclo de revenido entero) después de haber completado la soldadura. Otras veces, el tiempo disponible para reparar es escaso con lo cual es deseable la soldadura con un solo electrodo sin calentar la pieza y sin posterior tratamiento térmico.

Hay varias técnicas de reparación mediante soldadura: soldadura por arco (electrodo recubierto, TIG, MIG, MAG), láser, plasma, bombardeo electrónico... Se distinguen en la concentración de energía aportada y con eso en el tamaño de la zona fundida del material base y del ZAT (zona afectada térmicamente). Las técnicas más aplicadas son la del electrodo consumible recubierto y TIG, donde un material exógeno aportado se funde con el material base. Se han desarrollado miles de composiciones para los materiales de aportación para las distintas aplicaciones y materiales base (el material de la herramienta).

La capacidad de un material para ser soldado depende de varios factores que pueden ser clasificados en las siguientes categorías: física, metalúrgica y mecánica. El objetivo principal de la presente invención es el de proveer una familia de aceros de herramientas para trabajo en frío con una alta capacidad de ser soldados.

Se puede considerar que un material tiene una mayor capacidad para ser soldado cuando ocurre lo siguiente:

- El material acepta una gama más amplia de materiales de aportación sin agrietarse.
- No se agrieta cuando las condiciones utilizadas no son óptimas: sin calentamiento previo de la pieza, sin martilleo del cordón, sin destensionado o revenido después del proceso.
- Las propiedades mecánicas de la soldadura son mejoradas en todas las capas: material de aportación fundido, zona de fusión de mezcla, material base fundido y ZAT.

Entre los elementos de la composición hay algunos que afectan seriamente la soldabilidad física y por tanto deben ser evitados si se requiere una buena soldabilidad, lo que se persigue en el presente invento. Todos los aditivos para facilitar el mecanizado requieren una mención especial, entre los cuales el más utilizado es el azufre.

El carbono es uno de los elementos que tienen un impacto más determinante en la soldabilidad mecánica y metalúrgica (y por extensión cualquier otro elemento intersticial empleado como nitrógeno o boro). Por tanto, un acero de herramienta con nivel bajo de C+N+B es deseable.

Para aplicaciones de trabajo en frío, los requerimientos son altos, con lo cual un buen compromiso entre la dureza y la resistencia de desgaste es deseado a un elevado nivel de dureza: para muchas aplicaciones se requiere una dureza superior a 58 HRC con una buena resistencia de desgaste. Una manera económica de obtener una dureza y resistencia al desgaste elevadas es a través de carburos, pero la presencia de carburos implica contenidos altos de carbono con lo cual la soldabilidad es menor. Los carburos pueden ser reemplazados por nitruros o boruros, pero su efecto negativo en la soldabilidad no es inferior al del carbono.

Uno de los aceros de herramientas para trabajo en frío más utilizado es el AISI D2 (W.Nr. 1.2379), es un acero ledeburítico rico en cromo con un 1.55% C. Con el fin de poder hacer comparaciones y para dar un significado a los términos comparativos utilizados a continuación (como por ejemplo buen comportamiento, pobre resultado...) podemos considerar a este acero como estándar presentando una tenacidad media y una resistencia de desgaste media en el nivel de dureza de uso normal (56 - 62 HRC). La soldabilidad de este acero estándar será considerada muy baja puesto

que esta es la propiedad que ha sido drásticamente mejorada con el acero de la presente invención.

Para obtener los niveles de dureza exigidos sin utilizar los elementos intersticiales como carbono, nitrógeno o boro, otros mecanismos de endurecimiento deberían ser empleados como solución sólida sustitucional, afino del tamaño de grano, solución sólida intersticial y endurecimiento por partículas (pero en vez de carburos secundarios se pueden utilizar precipitados coherentes intermetálicos).

Una solución semejante fue desarrollada hace más de cincuenta años, los llamados aceros "maraging" con contenidos de carbono y de otros elementos intersticiales a nivel de impurezas manteniendo su contenido lo más bajo posible en valores del orden de ppm. Obtienen su dureza mediante solución sólida sustitucional sobretodo de Co, y precipitación, normalmente de: Ni_3Ti , Ni_3Mo y Ni_3Al como precipitados intermetálicos. Algunos grados pueden llegar a 62 HRc 5 después de un tratamiento térmico de precipitación adecuado. Su soldabilidad es excelente, pero su resistencia al desgaste es baja para la mayoría de aplicaciones de trabajo en frío. A veces esta falta de resistencia al desgaste se puede superar mediante un recubrimiento duro, pero el soporte que proveen para el recubrimiento es pobre y después de recubrir muchas veces la soldabilidad es más baja. La baja resistencia al desgaste, cuando esta se compara con un acero de herramienta para trabajo en frío, se puede relacionar directamente con la falta de partículas duras de segunda fase como carburos, boruros o nitruros. Esta misma razón es la causa para un menor rendimiento incluso cuando un recubrimiento es empleado.

Para los aceros de herramientas de la presente invención, además de C, N y B como elementos de solución sólida intersticial (serán además usados como formadores de carburos), otros elementos típicos de una solución sólida sustitucional pueden ser empleados, la mayoría de ellos estarán presentes todos modos, ya que se utilizan como formadores de carburos, como puede ser el caso de V, Mo, W, V y, en menor medida, de fuertes formadores de carburos con un menor producto de solubilidad, incluso con un bajo porcentaje de C, N y/o B. Otros elementos de solución sólida sustitucional, que no son formadores de carburos, pueden ser usados para endurecer la aleación, como el Cu (hasta un 4%) y el Co (hasta un 8%). A menudo también se utiliza Co como factor de precipitación para la precipitación de intermetálicos de Ni. La conveniencia de la presencia de estos elementos es específica para cada aplicación, es decir, aleaciones diferentes a la presente invención tendrán diferentes cantidades de estos elementos de endurecimiento por solución sólida, siendo la presencia de todos ellos, obviamente, no obligatoria, por lo que algunas de las aleaciones de la presente invención sólo pueden tener C como elemento de solución sólida intersticial y V y Cr como elementos de solución sólida sustitucional.

Como ya se ha explicado anteriormente, el contenido de carbono podría ser reemplazado parcialmente o completamente por nitrógeno o boro, debido al efecto semejante de los carburos, boruros y nitruros respecto a las propiedades más relevantes e interesantes en este contexto: soldabilidad, resistencia al desgaste, tenacidad y dureza. Por esta razón vamos a emplear un concepto de carbono equivalente (C_{eq}) donde, en este caso: 20 $\%C_{eq} = \%C + 0.86 * \%N + 1.2 * \%B$.

La mayoría de los aceros de herramientas para trabajo en frío, excluyendo los que son resistentes al choque, tienen un $C_{eq} > 1\%$, especialmente cuando se requiere una dureza por encima de los 58 - 60 HRc. Este siempre es el caso para los aceros de herramientas para trabajo en frío con una resistencia al desgaste media o alta. En general, para obtener más de 60 HRc con dureza secundaria y una buena resistencia al desgaste se requiere un C_{eq} más alto del 1%, para obtener más de 65 HRc se requiere un C_{eq} cercano al 2% y, niveles de un C_{eq} de hasta un 3% pueden resultar en una dureza secundaria superior a 70 HRc. Se requiere la dureza secundaria para ser capaz de aplicar tratamientos 25 superficiales (como nitrurado, sulfuro-nitrurado, borurado) y recubrimientos (como PVD, CVD o implantación iónica) en la superficie del acero de herramientas. Para recubrimientos CVD también es muy importante que los nuevos aceros de herramientas del presente invento sufran la menor distorsión posible durante el tratamiento térmico.

El objetivo de la invención es el de obtener un acero de herramientas martensítico, o al menos parcialmente martensítico, para trabajo en frío con una resistencia de desgaste media o alta (conseguida a través de la presencia de carburos primarios o como alternativa nitruros y/o boruros), una dureza por encima de los 60 HRc y una muy buena tenacidad, pero con un contenido de carbono notablemente más bajos (de esta manera el endurecimiento por carburos secundarios debería ser reemplazado por otros mecanismos de endurecimiento, como la precipitación o incluso la solución sólida, en la mayor medida posible), por ejemplo 0.5% C_{eq} para obtener 62 HRc (en el estado del arte actual 30 por lo menos 1% C_{eq} es requerido, en JP 01 159353, donde los rangos composicionales son similares, se necesita de 0.9 - 1% C para obtener 55 y 58 HRc respectivamente, en US 2 715 576 A, donde se usan algunos de los mecanismos de endurecimiento utilizados en la presente invención, se necesita un 1% C para obtener 48 HRc) o 0.9% C_{eq} para obtener 67 HRc (en el estado de tecnología más de 1.5% o incluso 2% son requeridos). Los autores han descubierto que la solución del problema descrito se puede conseguir mediante un acero de herramientas, al menos parcialmente martensítico, para trabajo en frío con la siguiente composición, estando todos los porcentajes en % en peso:

%C _{eq} = 0.25 - 2.5	%C= 0.25 - 2.5	%N= 0 - 2	%B= 0 - 2
%Cr= 0.1 - 10	%Ni= 3 - 12	%Si= 0.01 - 2	%Mn= 0.08 - 3
%Al= 0.5 - 5	%Mo= 0 - 10	%W= 0 - 15	%Ti= 0 - 3
%Ta = 0 - 2	%Zr = 0 - 2	%Hf = 0 - 2,	%V = 0 - 12
%Nb = 0 - 2	%Cu = 0 - 4	%Co = 0 - 8	%S = 0 - 1
%Se = 0 - 1	%Te = 0 - 1	%Bi = 0 - 1	%As = 0 - 1
%Sb = 0 - 1	%Ca = 0 - 1,		

consistiendo el resto en hierro e impurezas inevitables, en el que

$$\%C_{eq} = \%C + 0.86 * \%N + 1.2 * \%B,$$

caracterizado porque:

5 %Cr + %V + %Mo + %W > 3 y

 %Al + %Mo + %Ti > 1.5

con la condición de que:

cuando %C_{eq}=0.45 - 2.50, entonces %V= 0.6 - 12; o

cuando %C_{eq}=0.25 - 0.45, entonces %V= 0.85 - 4; o

10 cuando %C_{eq}=0.25 - 0.45, entonces %Ti + %Hf + %Zr + %Ta = 0.1 - 4.

Siguiendo este camino, se obtiene una soldabilidad mucho mejor para un nivel de dureza dado, pero sin sacrificar demasiada resistencia de desgaste o ninguna, y en general mejorando considerablemente la tenacidad, dependiendo de los valores de ciertos elementos en la formulación.

15 Uno de los objetivos de la presente invención es obtener alta dureza con un bajo contenido en carbono en comparación con el presente estado del arte. Por consiguiente, para obtener un acero de herramientas de la presente invención, se debe escoger una composición exacta dentro del rango composicional juntamente con un proceso termo-mecánico para asegurar que el acero sea martensítico o bainítico o, como mínimo, parcialmente martensítico o bainítico (con parte de ferrita, perlita o incluso austenita retenida). Frecuentemente ocurre que dos aceros que representan dos avances tecnológicos muy diferentes, y por lo tanto encaminados a aplicaciones muy diferentes, además cada uno resultando ser absolutamente inútil para el objetivo de la aplicación del otro, pueden coincidir en el rango de composición. En la mayoría de los casos la composición real no coincide, aunque los rangos de composición más o menos interieran, en otros casos la composición real podría coincidir incluso, y la diferencia vendría dada por los tratamientos termo-mecánicos aplicados. Un caso ejemplo relacionado con la presente invención se puede encontrar en JP 01 159353 A, donde se obtiene un acero de herramientas austenítico no magnético para el moldeo de imanes de plástico, donde los rangos de composición más o menos pueden coincidir con la presente invención. En este caso particular, la composición actual no puede coincidir ya que es necesario utilizar un contenido mucho más alto de estabilizador de la austenita, por lo general cromo (Cr), para tener un acero austenítico, lo cual sería desastroso para la presente invención. Los aceros de la presente invención son todos magnéticos y por lo tanto totalmente inútiles para el objetivo que se persigue en JP 01 159353 A, de la misma manera una herramienta de acero austenítico resultaría de lo más indeseable para la presente invención.

Descripción detallada del invento

Para obtener las propiedades deseadas, una combinación de carburos primarios y secundarios, solución sólida sustitucional y precipitación de compuestos intermetálicos es empleada. Otras investigaciones para otras aplicaciones optimizaron combinaciones de algunos de estos mecanismos de endurecimiento anteriormente; como en AT411905B (EP-A-1445339), donde el endurecimiento mediante carburos secundarios (mecanismo no deseado para las aplicaciones del presente invento) es combinado con endurecimiento por precipitación para aceros de herramientas para trabajo en caliente, y en JP1104749 o en los muy conocidos Daido Steel Limited NAK55 y NAK80, donde todos los

5 mecanismos de endurecimiento con la excepción del empleo de carburos primarios, son combinados para aceros para la construcción de moldes de plástico. Los mismos mecanismos de endurecimiento destinados a la fundición y la forja en caliente se pueden encastrar en US2715576. En los dos casos, la resistencia al desgaste de los aceros obtenidos es baja por la falta de carburos primarios. Ninguna combinación de los tres mecanismos de endurecimiento empleadas en el presente invento ha sido utilizada para producir aceros de herramientas que sean adecuados para aplicaciones de trabajo en frío, y no ha sido reportada ninguna otra combinación de los mecanismos de endurecimiento empleados en el presente invento que ofrezca dicha combinación destacada de las propiedades deseadas: dureza, resistencia de desgaste y tenacidad con una soldabilidad excepcional.

10 Dado que la presencia de carburos primarios debe proporcionar la resistencia al desgaste, pero como queremos sacar provecho del incremento de tenacidad que una matriz endurecida por precipitación puede conllevar, y como queremos mantener el porcentaje de C_{eq} tan bajo como sea posible para incrementar la soldabilidad, queremos aprovechar bien la presencia de carbono y con eso asegurarnos de que los carburos primarios formados sean los que presentan el mejor compromiso entre dureza y tenacidad. Después de haber caracterizado la dureza y la tenacidad de fractura de carburos primarios con técnicas que nano-indentación (ver Figura 1), se ha descubierto que los carburos del tipo MC rico en vanadio modificados por adiciones de metales refractarios, tienen el mejor compromiso entre dureza y tenacidad de fractura para distintas aplicaciones (círculo rojo en la imagen 1), por lo tanto estos serán a menudo los carburos primarios seleccionados. En algunas aplicaciones, la tenacidad de fractura de la matriz es más importante que la de los carburos primarios, y en estos casos carburos con elementos fuertemente carburígenos serán seleccionados para dejar la matriz más tenaz, y carburos más duros, en este caso carburos de Ti o carburos de Ti con solución de otros metales (principalmente con V, W y/o Mo) serán los preferidos, como alternativa los carburos de Zr y Hf mixtos pueden ser utilizados. También es beneficioso tener tan pocos carburos secundarios en la matriz como sea posible, dado que los precipitados proporcionan un compromiso mejor entre la dureza y la tenacidad y no incrementan el % C_{eq} , por lo que se preferirán los elementos carburígenos a los que tienen menor afinidad por el carbono.

25 Cuando el acero de la presente invención debe ser utilizado en estado fundido, es decir, sin posterior deformación en caliente: forja, extrusión y/o laminado (solo se aplican tratamientos térmicos), la presencia de carburos primarios debe estar muy bien controlada. Este es el caso cuando el acero de herramientas de la presente invención es utilizado para obtener una pieza, una matriz o cualquier otro tipo de herramienta fundiendo la aleación y vertiéndola en un recipiente con la forma deseada, es también el caso, cuando el polvo de la aleación es utilizado para producir la forma deseada a través de sinterizado local o incluso mediante fundición localizada. La situación también es típica cuando la aleación de la presente invención es utilizada como material de aporte para soldadura (ya sea polvo para soldadura láser, plasma... o como alambre, hilo o electrodo recubierto para soldadura al arco). Resumiendo, este es el caso cuando la aleación de la presente invención se funde por completo o parcialmente, y ni forja, laminación o extrusión son aplicadas posteriormente (en los párrafos previos la cantidad deseada y el tipo de carburos primarios son descritos para el caso en el que la forja, extrusión y/o la laminación sean aplicadas). En este caso, cuando la tenacidad necesita ser alta, menos carburos primarios deberían ser utilizados, y es muy interesante, cuando los carburos primarios no tienden a precipitar en los bordes de grano. Para este objetivo, muchas veces es usado un carburo mixto Ti-V. La cantidad total de los carburos primarios utilizados será un poco más baja y con eso también C_{eq} . Utilizando la aleación de la presente invención, una fundición o una soldadura con una tenacidad mayor de 30 J puede ser obtenida (un 50 % mayor en comparación con los aceros de herramientas para trabajo en frío convencionales utilizados hoy en día) con una resistencia de desgaste más de cuatro veces superior y un nivel de dureza de 60 HRc. Debido a la tenacidad tan elevada, se pueden llevar a cabo procesos de soldadura largos sin que se produzca una fractura en el cordón. Los electrodos de soldadura que se utilizan hoy en día y que alcanzan una dureza por encima de 58 HRc tienen un tenacidad muy baja, menos de 10 J.

45 En cuanto a los precipitados intermetálicos, varios pueden ser utilizados, para mencionar los más importantes: Ni_3Ti , Ni_3Mo , Ni_3Al , $NiTi$, $NiMo$ y $NiAl$. Para tener los precipitados con un contenido de níquel alto, se requiere cantidades bastante altas de este elemento, y el níquel es un elemento bastante caro. Respecto al uso de Ti, Al o Mo como elemento que acompaña al Ni para formar el precipitado, se debería tener en cuenta que el Ti es el elemento preferido por las características mecánicas que otorga a la aleación, pero el Al es preferido por su simplicidad ya que no forma carburos fácilmente. El problema es la presencia de carbono o de otros elementos intersticiales para formar carburos, 50 nitruros o boruros primarios resistentes al desgaste. El carbono reacciona con el Ti vigorosamente y forma un carburo de titanio en vez de dejar al Ti formar un precipitado intermetálico con el níquel; para evitar esto, el carbono debe ser fijado por elementos con mayor avidez por el carbono que el Ti. Lo mismo se puede decir sobre el Mo, pero como es un formador de carburos más débil, tenemos más elementos para fijar carbono que en el caso del Ti, y entre ellos hay un elemento relativamente barato como el vanadio. Abajo mencionamos los formadores de carburos, en orden creciente de 55 avidez por el carbono, para que quede claro qué elementos puedan ser utilizados para fijar el carbono si se quiere combinar Ni con Ti o con Mo:

Cr, W, Mo, V, Ti, Nb, Tz, Zr, Hf.

Con esta estrategia de endurecimiento, el compromiso obtenido entre la dureza y la tenacidad es muy bueno. Dada la menor cantidad de carburos secundarios presentes, la matriz tiene un mejor compromiso entre la dureza y la tenacidad. 60 El titanio puede ser empleado como formador de carburos primarios, especialmente conjuntamente con el vanadio, entonces otros elementos, principalmente el Mo y Al, tienen que ser empleados para el endurecimiento por precipitación de la matriz. La utilización del Ti y otros fuertes formadores de carburos baja la presencia de carburos secundarios, que

es un mecanismo de endurecimiento de la matriz menos deseado para el acero de herramientas de la presente invención, ya que el endurecimiento por precipitación es más ventajoso.

Por lo tanto, la aleación de la presente invención siempre tendrá algunos formadores de carburo del grupo: Cr, V, Mo y W. De hecho, como puede verse en la Figura 1, normalmente los carburos mixtos ricos en vanadio (con Cr, Mo, W) son preferentemente empleados. Así, el vanadio siempre estará presente en los aceros para herramientas de la presente invención, a excepción de un ejemplo muy especial con alta dureza para aplicaciones donde se requiere alta soldabilidad con extrema tenacidad y donde la resistencia al desgaste pueda ser sacrificada para mejorar la tenacidad. En este caso, como también se puede observar en la Figura 1, los carburos primarios de Mo/W se emplean en lugar de vanadio, y dado que su resistencia a la fractura depende en gran medida de la presencia de impurezas, se emplearán bajos niveles de Cr y V, incluso niveles tan bajos como sea posible de estos dos elementos (que sólo estarán presentes como impurezas inevitables). Por lo tanto, los ejemplos preferidos de las aplicaciones anteriores de la presente invención son aceros con las siguientes características:

cuando $\%C_{eq} = 0.45 - 2.5$ y $\%Cr \geq 2.5$, entonces $\%V = 0.6 - 12$;

cuando $\%C_{eq} = 0.45 - 2.5$ y $\%Cr < 2.5$, entonces $\%Mo + \frac{1}{2} \%W = 1.5 - 17$.

15 En relación con el endurecimiento por precipitación, el acero para herramientas de la presente invención siempre tendrá suficiente níquel, y formadores de intermetálicos de Ni como Al, Mo y/o Ti.

Para las realizaciones muy bajas en carbono de la presente invención, la soldabilidad excepcional con niveles de alta dureza se puede lograr siguiendo dos estrategias diferentes en la consecución de los carburos, dependiendo de la aplicación. Para aplicaciones donde el precio del acero de herramienta es de gran importancia, y para aplicaciones 20 donde la resistencia al desgaste es más importante que la tenacidad, los carburos se forman principalmente con el vanadio; para las aplicaciones donde la tenacidad es más importante, además de la soldabilidad, se emplearán fuertes formadores de carburos como Ti, Hf, Zr y/o Ta. Por lo tanto, los ejemplos adicionales preferidos para las aplicaciones anteriores de la presente invención son aceros con las siguientes características:

cuando $\%C_{eq} = 0.25 - 0.44$, entonces $\%V = 0.85 - 4$; o

25 cuando $\%C_{eq} = 0.25 - 0.44$, entonces $\%Ti + \%Hf + \%Zr + \%Ta = 0.1 - 4$.

Un caso especial es el del Nb, aún siendo su efecto en la tenacidad para los aceros de la presente invención bastante negativo y por ello su presencia será como impureza inevitable, para algunas aplicaciones específicas donde el control del crecimiento de grano es deseable, se puede utilizar, en el marco de la presente invención, hasta un 2%.

30 La adición de mejoradores de mecanizado también es factible en la presente invención, para reducir los costos de construcción de herramientas. El elemento más utilizado es el azufre (S), con concentraciones por debajo del 1%, por lo general el contenido de Mn se incrementa para asegurar la presencia de azufre como sulfuro de manganeso y no como sulfuro de hierro, que obstaculiza en gran medida la tenacidad. También As, Sb, Bi, Te e incluso Ca se pueden utilizar para este propósito.

35 Para una composición dada, los valores de la dureza, tenacidad y resistencia al desgaste de aceros de herramientas y, en menor grado, la soldabilidad pueden ser fuertemente influenciados por el tratamiento térmico como se puede ver en la tabla 3. Distintos tratamientos térmicos se puede utilizar con los aceros de herramientas de la presente invención para distintas aplicaciones.

40 El acero de herramientas de la presente invención puede ser producido por cualquier ruta metalúrgica, siendo las más comunes: fundición en arena, fundición a la cera perdida, colada continua, fundición en horno eléctrico, fundición por inducción al vacío. También se puede utilizar métodos de pulvimetallurgia incluyendo cualquier tipo de atomización y método de compactación posterior como el HIP, CIP, el compactado en frío o caliente, sinterizado, proyección térmica o "CLADDING" para mencionar algunos. La aleación puede ser obtenida directamente con la forma deseada o con posterior afino por proceso metalúrgico. Cualquier proceso metalúrgico de refinamiento puede ser aplicado como ESR (refundido en baño de escorias electroconductoras), desgaseado por burbujeo de oxígeno y argón, refundido por arco eléctrico al vacío... la forja o laminación también pueden ser aplicados para mejorar la tenacidad. El acero de herramientas puede ser obtenido como hilo, alambre o polvo para ser empleado como material de aporte durante la soldadura. Incluso se puede construir una matriz utilizando una fundición de bajo coste aportando hilo fabricado con un acero de la presente invención en las partes críticas de la matriz a través de soldadura aportando hilo hecho de un acero de la presente invención o incluso mediante soldadura láser, plasma o bombardeo electrónico utilizando polvo hecho con el acero de la presente invención. También, el acero de herramientas de la presente invención podrías ser usado con cualquier técnica de proyección térmica para suministrarlo en partes de la superficie de otro material.

45 El acero de la presente invención puede ser también usado para la construcción de partes estructurales como ejes, engranajes, bielas, cojinetes y también en formato laminado para la construcción de estructuras resistentes como son los marcos en los automóviles, los pilares, refuerzos, tablas de navegar...

EJEMPLOS

Se facilitan algunos ejemplos de cómo la composición de la invención puede ser ajustada de una manera más precisa para distintas aplicaciones típicas de trabajo en frío:

Ejemplo 1

Para la mayoría de las aplicaciones, donde los requisitos mecánicos son bajos y podrían ser obtenidos mediante un acero de herramientas para trabajo en frío convencional, y por lo tanto el beneficio conseguido con el acero de herramientas de la presente invención es solamente una mejora en la soldabilidad, la composición debe de ser elegida para minimizar el coste mientras se obtiene la soldabilidad óptima. Se utilizarán formadores de carburos baratos, y los precipitados intermetálicos serán formados sobre todo con Al y Mo. La composición debería estar dentro del siguiente rango:

C _{eq} : 0.45 - 0.55	Cr: 2.0 - 5.0	V: 1.0 - 3.5	Ni: 3.0 - 6.0
Si: 0.05 - 1.5	Mn: 0.08 - 2	Al: 0.5 - 2.0	Mo: 0 - 3
W: 0 - 2	Cu: 0 - 4		

10

Todos los valores son porcentajes en peso.

Ejemplo 2

Para aplicaciones de corte, recorte y punzonado con requerimientos de tenacidad muy elevados (debido a la alta resistencia mecánica o elevado espesor de la chapa, o la complejidad de la geometría a cortar).

15

En este caso, niveles muy bajos de carbono son deseables ya que la tenacidad debería ser alta después de la reparación. La tenacidad del acero también es muy importante, y el coste no es tan determinante. En cualquier caso, el endurecimiento por precipitación debe representar una proporción incluso más alta del total, elementos fuertemente carburígenos, incluso cuando estos sean caros, deberían ser empleados. Los carburos primarios deberían ser más bien pequeños con lo cual Cr, Mo y W no deberían ser los elementos de aleación preferidos. Las composiciones deberían estar dentro de los márgenes siguientes:

C _{eq} : 0.45 - 0.6	Cr: 2 - 8	V: 1 - 3.5	Ni: 6 - 12
Si: 0.01 - 1.4	Mn: 0.2 - 3	Al: 1.5 - 4	Mo: 1 - 3
W: 0.5 - 2	Ti: 0.2 - 2	Co: 1 - 6	Cu: 0 - 2

y Hf + Zr + Ta + Nb: 0 - 1.

Ejemplo 3

Cuando se deseé incluso más soldabilidad o la tenacidad necesaria deba ser más alta y se pueda sacrificar un poco de la resistencia de desgaste, una versión con un porcentaje más bajo de C_{eq} será empleada, y en este caso, alguno de los elementos más ávidos de carbono como Ti, Zr o Hf tiene que ser empleados, si no la mayoría del carbón añadido se empleará para la formación de carburos secundarios menos deseados. El Ti, Zr y Hf promocionan la formación de carburos primarios, el Ti es especialmente deseable, porque combina muy bien con el V para formar carburos primarios mixtos de una dureza muy alta y una tenacidad aceptable. Esta gama de composiciones con un contenido un poco menor de carburos primarios es también muy interesante cuando la aleación es utilizada como fundición sin forja posterior, sólo con el tratamiento térmico. Esto ocurre en la fundición con o sin modelo, y también en las soldaduras donde la composición del acero de este ejemplo de aplicación es utilizada como material de aporte para soldadura (como polvo para soldadura por láser, plasma... o como alambre, hilo o electrodo recubierto para la soldadura al arco):

C _{eq} : 0.25 - 0.43	Cr: 0.1 - 8	V: 0.9 - 2	Ni: 4 - 12
Si: 0.01 - 1	Mn: 0.08 - 3	Al: 1.5 - 3	Mo: 1 - 10
W: 0 - 15	Tri: 0 - 3	Hf: 0 - 2	Zr: 0 - 2
Co: 0 - 10	Cu: 0 - 4		

y Ti + Zr + Hf: 0.2 - 2

Ejemplo 4

Para aplicaciones muy exigentes, un método de aleación preferido sería a través del uso de ZrC, HfC o (Ti-V)C como carburos primarios y NiTi y la mayor cantidad posible de Ni₃Ti como precipitados. La composición final debería estar dentro de los márgenes siguientes:

C _{eq} : 0.45 - 0.8	Cr: 0.1 - 4	V: 0.6 - 2	Ni: 6 - 12
Si: 0.01 - 1	Mn: 0.08 - 3	Al: 1.5 - 5	Mo: 1 - 5
W: 0 - 1	Ti: 0.5 - 3	Hf, Zr: 0.2 - 2	Ta, Nb: 0 - 1
Co: 1.5 - 14	Cu: 0 - 2		

Ejemplo 5

Para aplicaciones en las que la resistencia al desgaste tiene que ser muy alta, se deben utilizar partículas con una resistencia al desgaste muy elevada, como VC, quizás incluso boruros como WB o TiB₂. El nivel de % C será más alto en este caso y de esta manera la soldabilidad será menor:

C _{eq} : 0.8 - 2.5	Cr: 2 - 8	V: 2 - 12	Ni: 5 - 8
Si: 0.05 - 1	Mn: 0.08 - 3	Al: 1.5 - 3	Mo: 1 - 10
W: 1 - 15	Ti: 0.3 - 3	Hf: 0 - 2	Zr: 0 - 2
Co: 0 - 14	Cu: 0 - 4		

Ejemplo 6

Cuando el acero de herramientas de la presente invención deba ser empleado como un material de aporte para soldadura, es conveniente asegurar que la composición no induzca segregación o precipitación de carburos primarios en borde de grano en estado fundido, para tener niveles de tenacidad decentes:

C _{eq} : 0.45 - 1.2			
Cr: 1 - 8	V: 0.6 - 4	Ni: 4 - 10	Si: 0.05 - 1.5
Mn: 0.08 - 3	Al: 1 - 3	Mo: 0.3 - 5	W: 0 - 5
Ti: 0 - 3	Hf: 0 - 2	Zr: 0 - 2	Co: 0 - 8
Cu: 0 - 4.			

Más ejemplos de acero producido de acuerdo con la presente invención:

Se han producido varias coladas y sus propiedades han sido comparadas con la de los aceros de herramientas para trabajo en frío. En la tabla I, se presentan las composiciones de algunas de las coladas más relevantes, también se especifica el método metalúrgico para obtener las muestras. En la tabla II, las propiedades más relevantes para las aplicaciones de trabajo en frío son comparadas. Se puede ver que con el acero de herramientas del presente invento no sólo se obtiene la misma dureza con un nivel considerablemente menor de %C_{eq}, con las consecuentes implicaciones en la mejora de la soldabilidad, sino que también el compromiso entre dureza y tenacidad se ve notablemente mejorado.

5

Colada	Prd	%C _{eq}	%Si	%Mn	%Ni	%Co	%Al	%Mo	%V	%W	%Ti	%Zr	%Hf	%Cr
ACEROS DE TRABAJO EN FRÍO SEGÚN EL INVENTO														
CTS-0	C	0.52	0.82	0.14	5.7	0.3	2.08	1.4	1.74	0.78	0.5	0.28	<0.01	3.52
CTS-1	C	0.49	1.12	0.35	5.9	<0.01	2.3	1.79	2.0	<0.01	2.0	<0.01	<0.01	3.66
CTS-2	C	0.8	1.14	0.29	5.37	3.48	2.17	2.64	1.77	2.08	0.6	<0.01	<0.01	5.65
CTS-3	C	0.56	0.1	0.15	8.32	7.35	2.21	1.8	1.31	2.7	2.1	0.54	<0.01	2.44
CTS-4	C	0.48	0.25	0.08	11.94	9.74	4.5	3.05	1.61	3.42	1.2	<0.01	<0.01	1.49
CTS-5	C	1.0	0.01	0.16	5.91	7.05	1.38	2.44	3.21	7.16	1.9	<0.01	<0.01	3.24
CTS-6	C	0.51	0.03	0.16	7.93	1.75	2.1	2.85	2.85	<0.01	0.8	0.53	<0.01	0.15
CTS-7	C	0.45	0.24	1.89	7.42	1.79	2.15	2.2	2.5	<0.01	0.5	<0.01	<0.01	1.8
CTS-8	C	0.36	1.0	0.4	5.0	1.5	0.8	1.0	0.85	<0.01	0.1	<0.01	<0.01	5.0
CT-0	P	0.5	1.3	0.3	6.0	<0.01	2.7	1.6	1.8	0.15	<0.01	<0.01	<0.01	3.7
CT-1	P	0.49	0.01	0.3	6.5	<0.01	2.6	2.6	32	0.31	0.33	0.24	<0.01	1.3
CT-2	P	2.3	0.03	0.28	6.1	7.25	1.5	3.14	8.01	7.85	1.98	<0.01	0.04	2.48
FTS-0	F	0.54	0.12	0.38	72	2.18	1.86	2.03	1.51	2.13	2.06	0.02	0.02	1.96
FTS-1	F	0.52	0.06	0.29	5.97	1.64	1.52	1.86	2.08	0.08	1.22	<0.01	<0.01	2.64
FTS-2 (*)	F	0.49	0.21	0.22	6.5	1.5	1.0	6.48	<0.1	4.0	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1
FTS-3*	F	0.30	0.1	0.4	5.0	1.5	6.8	1.0	0.95	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	wiz.0
ACEROS DE TRABAJO EN FRÍO DE REFERENCIA SEGÚN EL ESTADO DEL ARTE														
1.2379	C	1.55	0.3	0.3	<0.01	<0.01	<0.01	0.7	1.0	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	11.5
1.2379	F	1.55	0.3	0.3	<0.01	<0.01	<0.01	0.7	1.0	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	11.5
1.2379	P	1.55	0.3	0.3	<0.01	<0.01	<0.01	0.7	1.0	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	11.5
T15	F	1.55	0.25	0.25	<0.01	<0.01	<0.01	<1	5.0	12	<0.01	<0.01	<0.01	4
T15	P	1.55	0.25	0.25	<0.01	<0.01	<0.01	<1	5.0	12	<0.01	<0.01	<0.01	4

Colada	Prd	%C _{eq}	%Si	%Mn	%Ni	%Co	%Al	%Mo	%V	%W	%Ti	%Zr	%Hf	%Cr
--------	-----	------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----	-----	-----	-----	-----

ACEROS DE TRABAJO EN FRÍO SEGÚN EL INVENTO

1.2367	F	0.37	0.4	0.45	<0.01	<0.01	<0.01	3	0.55	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	5.0
--------	---	------	-----	------	-------	-------	-------	---	------	-------	-------	-------	-------	-----

C- obtenido por fundición, P- vía pulvimetálgica (atomización en gas inerte + HIP + forja), F- fundición convencional + forja.

* Esta colada contiene también un 0,07% S.

(*) Ejemplo no conforme a la invención.

Colada	Prd	Dureza [HRc]	Resiliencia [J]	Tenacidad a fractura [MPa·√m]	Resistencia al desgaste [%w.r.t1.2379F]
--------	-----	-----------------	--------------------	----------------------------------	--

ACEROS DE TRABAJO EN FRÍO SEGÚN EL INVENTO

Cuts-0	C	58	25	-	420
CTS-1	C	61	32	24	310
CTS-2	C	64	41	26	120
CT-0	P	61	85	-	520
CT-1	P	57	74	28	610
CT-2	P	69	28	-	980
FTS-0	F	60	48	29	730

ACEROS DE TRABAJO EN FRÍO DE REFERENCIA SEGÚN EL ESTADO DEL ARTE

1.2379	C	57	5	-	96
1.2379	F	60	20	25	100
1.3379	P	60	32	22	89
T15	F	67	16	-	820
T15	P	68	25	18	360
1.2367*	F	54	250	55	30
1.2379	F	60	20	25	100
1.3379	P	60	32	22	89
T15	F	67	16	-	820
T15	P	68	25	18	360
1.2367*	F	54	250	55	30

C- obtenido por fundición, P- vía pulvimetálgica (atomización en gas inerte + HIP + forja), F- fundición convencional +

forja.

* Se considera normalmente un acero de herramientas de trabajo en caliente, se ha añadido a la tabla para poder comparar las propiedades de los aceros según el presente invento con aceros existentes en el estado del arte anterior presentando endurecimiento secundario pero con bajo contenido de %C_{eq} y por lo tanto soldabilidad bastante buena.

Colada	Prd	Tratamiento térmico	Dureza [HRc]
CTS-0	C	Como material de aporte en soldadura, sin tratamiento térmico posterior	60
CTS-1	C	Fundido + 520 4h	62
CTS-2	C	Fundido + 520 4h	64
CTS-3	C	Fundido + 520 4h	64
CTS-4	C	Fundido + 520 4h	61
CTS-5	C	Fundido	63
CTS-5	C	Fundido + 540 4h	65
CTS-6	C	Fundido + 540 4h	59
CTS-7	C	Fundido + 520 4h	61
CTS-8	C	Fundido + 520 4h	60.5
CTS-0	C	1080 °C 30 min Enfriado en aceite + 520 4h+540 2h	63
CTS-5	C	1200 °C 15 min Enfriado en aceite +520 4h + 2 x 550 2h	68
CT-0	P	1080 °C 30 min Enfriado en aceite + 520 2h +540 2h	61
CT-1	P	1060 °C 30 min Enfriado en aceite + 520 2h + 520 2h	57
CT-2	P	1200 °C 15 min Enfriado en aceite +520 4h + 2 x 550 2h	69
FTS-0	F	1080 °C 30 min Enfriado en aceite + 520 4h + 540 2h	63
FTS-1	F	1080 °C 30 min Enfriado en aceite + 520 4h + 540 2h	61
FTS-2	F	1080 °C 30 min Enfriado en aceite + 520 4h	62
FTS-3	F	1080 °C 30 min Enfriado en aceite + 520 4h	61.5

C- obtenido por fundición, P- vía pulvimetárgica (atomización en gas inerte + HIP + forja), F- fundición convencional + forja.

Ejemplos adicionales de la invención se describen en las reivindicaciones dependientes.

- 5 Los aceros de herramientas de la invención poseen una extremadamente Buena soldabilidad a niveles de dureza superiores a 60HRc. El acero presenta una excelente combinación de las propiedades más relevantes de los aceros de herramientas para trabajo en frío: Dureza - Tenacidad - Resistencia al desgaste.

REIVINDICACIONES

1. Un acero de herramientas para trabajo en frío según la siguiente composición, siendo todos los porcentajes en peso:

%C _{eq} = 0.25 - 2.5	% C = 0.25 - 2.5	%N= 0 - 2	%B= 0 - 2
%Cr= 0.1 - 10	%Ni= 3 - 12	%Si= 0.01 - 2	%Mn= 0.08 - 3
%A1= 0.5 - 5	%Mo= 0 - 10	%W= 0 - 15	%Ti= 0 - 3
%Ta= 0 - 2	%Zr= 0 - 2	%Hf= 0 - 2,	%V= 0 - 12
%Nb= 0 - 2	%Cu= 0 - 4	%Co= 0 - 8,	%S= 0 - 1
%Se= 0 - 1	%Te= 0 - 1	%Bi= 0 - 1	%As= 0 - 1
%Sb= 0 - 1	%Ca = 0 - 1,		

Consistiendo el resto en hierro e impurezas inevitables, en donde

$$\%C_{eq} = \%C + 0.86 * \%N + 1.2 * \%B,$$

5 **caracterizado porque**

$$\%Cr + \%V + \%Mo + \%W > 3 \text{ y}$$

$$\%Al + \%Mo + \%Ti > 1.5,$$

con la condición de que

cuando %C_{eq}=0.45 - 2.5, entonces %V= 0.6 - 12; o

10 cuando %C_{eq}=0.25 - 0.45, entonces %V= 0.85 - 4; o

cuando %C_{eq}=0.25 - 0.45, entonces %Ti + %Hf + %Zr + %Ta = 0.1 - 4,

y **en que** el acero es al menos parcialmente martensítico.

2. Un acero según la reivindicación 1, en el que, cuando %C_{eq}=0.45 - 2.5 y %Cr < 2.5, entonces el %V= 0.6 - 12 es reemplazado por %Mo + ½ %W= 1.5 - 17.

15 3. Un acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en el que %Al = 1 - 5.

4. Un acero según las reivindicaciones 1 o 3, en el que:

%C _{eq} = 0.25 - 0.43	%V= 0.85 - 4	%Cr= 0.1 - 8	%Ni= 4 - 10
%Si= 0.05 - 1.5	%Mn= 0.08 - 3	%M= 1 - 3	%Mo= 0.3 - 5
%W= 0 - 5	%Ti= 0.1 - 3	%Co= 0 - 8	%Cu= 0 - 4, y
%Ti+%Zr+%Hf=0.1-4.			

5. Un acero según las reivindicaciones 1 o 3, en el que:

%C _{eq} = 0.25 - 0.43	%V= 0.85 - 4	%Cr=1 - 4	%Ni= 4 - 9
%Si= 0.01 - 1.5	%Mn= 0.08 - 0.5	%Al=1.5 - 2.5	%Mo= 0.8 - 1.5

%W= 0 - 2	%Ti= 0.3 - 1.2	%Co= 0 - 8	%Cu= 0 - 4, y
%Ti + %Zr + %Hf= 0.3 - 4.			

6. Un acero según las reivindicaciones 1 o 3, en el que:

%C _{eq} = 0.25 - 0.43	%V= 1 - 4	%Cr= 2 - 8	%Si= 0.01 - 1.4
%Mn= 0.2 - 3	%Al= 1.5 - 4	%Mo= 1 - 3	%W= 0.5 - 2
%Ti= 0.2 - 2	%Co= 1 - 6	%Cu= 0 - 2	%Ni= 6 - 12, y
%Ti + %Zr + %Hf = 0.2 - 4.			

7. Un acero según las reivindicaciones 1 o 3, en el que:

%C _{eq} = 0.25 - 0.43	%V= 0.85 - 4	%Cr= 0.1 - 4	%Ni= 5 - 12
%Si= 0.01 - 1	%Mn= 0.08 - 3	%Al= 1.5 - 5	%Mo= 1 - 5
%W= 0 - 2	%Ti= 0.5 - 3	%Cu= 0 - 2	%Co= 1.5 - 3.2, y
%Ti + %Zr + %Hf= 0.5 - 4.			

5

8. Un acero según las reivindicaciones 1 o 3, en el que:

%C _{eq} = 0.45 - 0.55	%Cr= 1 - 4	%V= 0.6 - 3	%Ni= 4 - 9
%Si= 0.05 - 1.5	%Mn= 0.08 - 0.5	%Al= 1.5 - 2.5	%Mo= 0.8 - 1.5
%W= 0 - 2	%Ti= 0.1 - 1.2	%Co= 0 - 8	%Cu= 0 - 4, y
%Hf + %Zr + %Ta + %Nb = 0 - 2.			

9. Un acero según las reivindicaciones 1 o 3, en el que:

%C _{eq} = 0.45 - 0.6	%Cr = 2 - 8	%V= 1 - 3.5	%Si= 0.01 - 1.4
%Mn= 0.2 - 3	%Al= 1.5 - 4	%Mo= 1 - 3	%W= 0.5 - 2
%Ti= 0.2 - 2	%Co= 1 - 6	%Cu= 0 - 2	%Ni= 6 - 12, y
%Hf + %Zr + %Ta + %Nb = 0 - 1.			

10. Un acero según las reivindicaciones 1 o 3, en el que:

%C _{eq} = 0.45 - 0.8	%Cr= 0.1 - 4	%V= 0.6 - 2	%Ni= 5 -12
%Si= 0.01 - 1	%Mn= 0.08 - 3	%Al= 1.5 - 5	%Mo= 1 - 5
%W= 0 - 2	%Ti= 0.5 - 3	%Cu= 0 - 2	%Co= 1.5 - 3.2,

donde %Hf+ %Zr+ %a+ %Nb= 0 - 2 y

%Ti + %Hf + %Zr + %Ta + %Nb > 0.7.

5 11. Un acero según las reivindicaciones 1 o 3, en el que:

%C _{eq} = 0.45 - 1.2	%Cr= 0.1 - 8	%V= 0.6 - 4	%Ni= 4 - 10
%Si= 0.05 - 1.5	%Mn= 0.08 - 3	%Al= 1 - 3	%Mo= 0.3 - 5
%W= 0 - 5	%Ti= 0.1 - 3	%Co= 0 - 8	%Cu= 0 - 4
y %Hf+ %Zr+ %Ta+ %Nb = 0 - 2.			

12. Un acero según las reivindicaciones 1 o 3, en el que:

%C _{eq} = 1.25 - 2.5	%Cr= 2 - 8	%V= 3 - 6	%Ni= 5 - 8
%Si= 0.05 - 1.2	%Mn= 0.08 - 3	%Al= 1.5 - 3	%Mo= 2 - 4
%W= 1 - 15	%Ti= 0.3 - 3	%Co= 0 - 7	%Cu= 0 - 4, y
%Hf + %Zr + %Ta + %Nb = 0 - 2.			

13. Un acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que:

10 %C_{eq} = %C, sin adición intencionada de B o N.

14. Un acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que el nivel de dureza es como mínimo de 58 HRc.

15. Un molde, herramienta o pieza que comprende al menos parcialmente un acero de herramientas de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14.

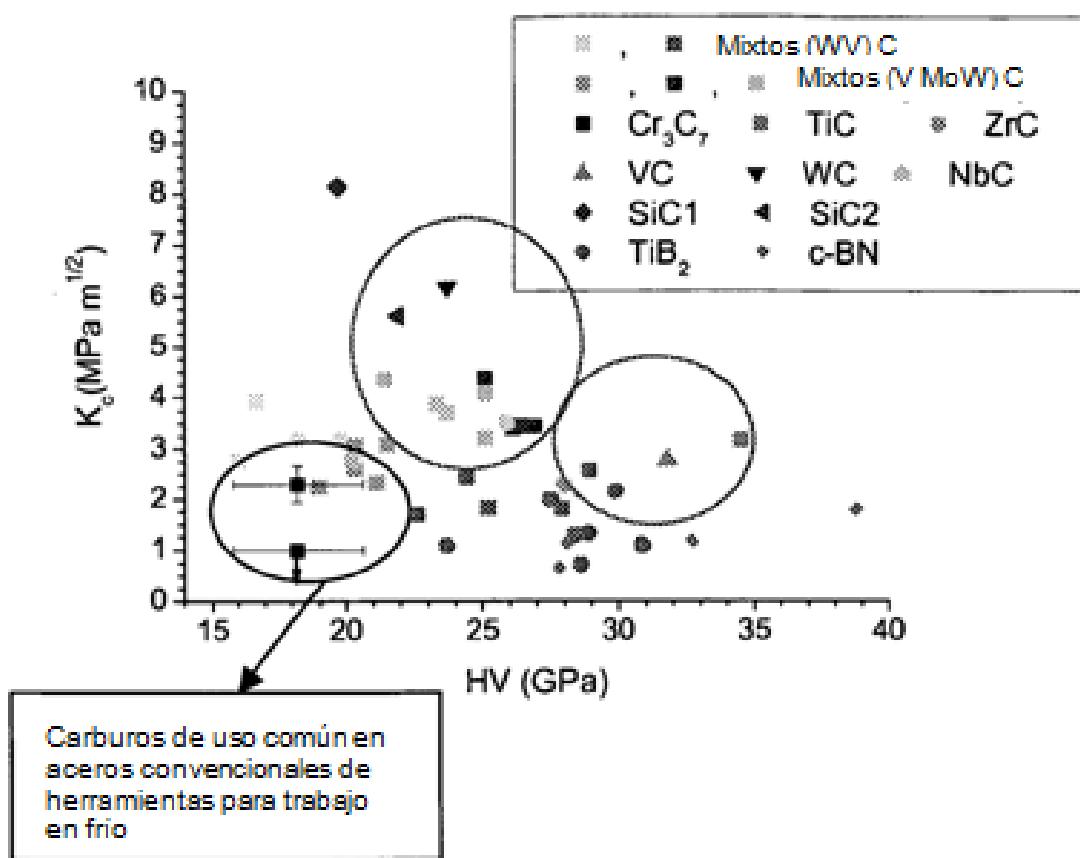


FIGURA 1