

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 668 684**

51 Int. Cl.:

C23C 14/00 (2006.01)

C23C 14/06 (2006.01)

C23C 14/34 (2006.01)

C23C 28/00 (2006.01)

B21D 22/02 (2006.01)

B21D 37/16 (2006.01)

C21D 1/673 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.11.2013** **E 13005498 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.02.2018** **EP 2876184**

54 Título: **Uso de una herramienta de formación en caliente revestida con un recubrimiento duro que comprende un sistema de capa dura de a-C:H:W para mejorar el rendimiento**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.05.2018

73 Titular/es:

**OERLIKON SURFACE SOLUTIONS AG,
PFÄFFIKON (100.0%)
Churerstrasse 120
8808 Pfäffikon, CH**

72 Inventor/es:

SOBIECH, MATTHIAS LUKAS

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 668 684 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

Uso de una herramienta de formación en caliente revestida con un recubrimiento duro que comprende un sistema de capa dura de a-C:H:W para mejorar el rendimiento

5 La presente invención se refiere al uso de una herramienta de conformación en caliente recubierta con un recubrimiento duro que comprende una capa dura de A - C: H:W para lograr un mejor rendimiento y tiempo de vida útil de la herramienta.

10 Estado en la técnica

En los últimos años, el estampado en caliente de láminas de acero de ultra alta resistencia (como por ejemplo, 22MnB5) se utiliza cada vez más para la fabricación de componentes de automóviles (como por ejemplo, el pilar B) con un peso reducido para disminuir, por un lado, las emisiones de CO₂ pero también para mejorar simultáneamente, por otro lado, la seguridad de los pasajeros. Por lo tanto, los componentes estructurales (como por ejemplo, el pilar B) hechos de láminas de acero de ultra alta resistencia se pueden hacer significativamente más ligeros simplemente reduciendo el espesor de la lámina. Por estos motivos, la aplicación de estampado en caliente o de procesos de conformación de lámina en caliente para la fabricación de nuevos componentes estructurales del automóvil ha aumentado considerablemente en los últimos años y, por lo tanto, también es necesario poner de manifiesto las complicaciones que surgen en paralelo.

En Europa, por ejemplo, se emplea un método de conformación de lámina caliente denominado templado rápido, conformado en caliente, estampado en caliente o prensado en caliente para fabricar componentes estructurales de automóviles que tienen una resistencia a la tracción de aproximadamente 1500 MPa (después del procesamiento). Mediante este método, las láminas de acero de resistencia ultra alta precalentadas (hasta aproximadamente 950 °C para la austenización homogénea) se pueden formar y endurecer fácilmente en una lámina de acero de resistencia ultra alta calentada que se extrae de un horno de calentamiento y luego se transfiere en unos segundos a una máquina de prensado, y posteriormente se conforma en una forma prescrita utilizando herramientas especiales de conformación de láminas metálicas que se mantienen a temperatura ambiente y, por tanto, enfriando las láminas de acero de ultra alta resistencia durante la conformación se puede endurecer mediante la transformación de fase de austenita a martensita que finalmente muestra una resistencia a la tracción de aproximadamente 1500 MPa. La prensa se mantiene cerrada durante varios segundos hasta que se completa la transformación de martensita (Senuma, T.: ISIJ Int. 41,520 (2001)).

En términos generales, a medida que aumenta la resistencia a la tracción de una lámina de acero, su formabilidad y ductilidad disminuyen. Por lo tanto, para superar estas limitaciones, se han desarrollado varios tipos de productos de láminas de acero de ultra alta resistencia y aún son una cuestión de investigación en curso (Senuma, T.: ISIJ Int. 41,520 (2001); 8. Erlanger Workshop Warmblechumformung Nov. 122013).

Con el fin de proteger la superficie de la lámina de acero contra la oxidación incontrolada (es decir, formación de incrustaciones) durante el calentamiento hasta aproximadamente 950 °C en la atmósfera ambiente, con frecuencia se emplean capas superiores protectoras como por ejemplo recubrimientos basados en AISi o Zn (J. Kondratiuk et al., Wear 270 (2011) 839). Para este fin, se han desarrollado láminas de acero aluminizadas tales como el denominado USIBOR 1500 (recubierto con AISi) así como diferentes tipos de láminas metálicas recubiertas con recubrimientos a base de zinc. Estas variantes de lámina metálica generalmente exhiben excelentes propiedades de prensado en caliente y calidad de resistencia a la corrosión.

Sin embargo, a pesar de las propiedades muy prometedoras exhibidas por las versiones de la lámina metálica revestida (AISi y Zn) mencionada anteriormente, existen serias complicaciones de proceso que pueden describirse de la siguiente manera: Ambos materiales de recubrimiento de lámina (AISi y Zn) a altas temperaturas, tienen una tendencia muy pronunciada a adherirse (pegarse) a la superficie de la herramienta de formación. Después de varios ciclos de formación sucesivos, el material adherido y acumulado puede producir arañazos y finalmente grietas (este problema se denomina a menudo excoiación) en la superficie de los productos formados (por ejemplo, el pilar B) y por lo tanto también puede dar como resultado una calidad del producto reducida o insatisfactoria. Además, la adhesión masiva de material a la superficie de la herramienta de conformación da lugar a períodos de mantenimiento frecuentes (limpieza de la superficie de la herramienta) en el entorno de producción, lo que reduce enormemente la productividad. Además, la oxidación de AISi y Zn da lugar a la formación de fases de óxido abrasivo. Por lo tanto, en contacto directo con la superficie de la herramienta y tras el funcionamiento a largo plazo, el desgaste abrasivo se vuelve cada vez más relevante. Además, con especial relevancia para láminas metálicas revestidas con Zn, también es de importancia primordial la formación de microgrietas tras conformarse con respecto al rendimiento de corrosión.

Para superar estas complicaciones, ya se ha especulado que la lubricación del proceso podría ser útil para suprimir la excoiación de las láminas revestidas con AISi y revestidas con Zn, pero también para reducir el grado de microfisuración, en particular para las láminas revestidas con Zn. Sin embargo, desde el punto de vista industrial, no es posible una lubricación eficiente del proceso mediante agentes sólidos o líquidos, ya que se deterioraría

enormemente el entorno del taller y, tras el tratamiento posterior de las piezas formadas, se necesitarían agentes desengrasantes no saludables para eliminar los restos del lubricante de la superficie de las piezas formadas.

5 En el documento WO2012104048 se menciona que un concepto para mejorar el rendimiento de la corriente mediante procesos de conformación de lámina metálica en caliente utilizando láminas metálicas revestidas es aplicar un recubrimiento de PVD resistente al desgaste/baja fricción en la herramienta de conformación de lámina metálica en caliente. Además, el documento WO2012104048 cita los resultados obtenidos por Clarysse et al. (Clarysse, F. et al., Wear 264 (2008) 400-404) en el contexto de algunas investigaciones sobre el comportamiento de diferentes sistemas de recubrimiento en pruebas especialmente diseñadas para evaluar la respuesta de los recubrimientos a la excoiación. Informaron que las capas de compuestos a base de carbono como el tipo DLC (DLC es una abreviatura bien conocida para referirse a recubrimientos de carbono amorfo de tipo diamante que también pueden denominarse recubrimientos de a-C:H si contienen, además de carbono, solo hidrógeno sin otros elementos) y WC/C (un recubrimiento de WC/C es un recubrimiento de a-C:H:W en el contexto de la presente descripción) tienen una excelente resistencia a la excoiación y recomendaron utilizar este tipo de recubrimientos para herramientas en lugar de recubrimientos duros típicos como por ejemplo CrN, TiN y CrN/TiCrN para evitar la excoiación.

20 Para una mejor comprensión del estado de la técnica, es importante destacar que no se especificaba la temperatura a la que Clarysse et al. realizaron las pruebas. Sin embargo, de acuerdo con la descripción de los experimentos, es fácil concluir que la intención de Clarysse et al. era investigar el comportamiento de los recubrimientos con respecto a las operaciones de conformación de lámina metálica en frío y no con respecto a las operaciones de conformación de lámina metálica en caliente.

25 Los autores del documento WO2012104048 informaron que el rendimiento mejorado para las herramientas de conformación de lámina metálica en frío obtenidas mediante el uso de los recubrimientos propuestos por Clarysse et al. no se proporciona lo suficiente para procesos de conformación de lámina en caliente de láminas metálicas revestidas de ultra alta resistencia.

30 Además, en el documento WO2012104048 se informa que cuando se utilizan láminas de acero de ultra alta resistencia recubiertas con AlSi como USIBOR 1500, el fenómeno de excoiación no puede reducirse satisfactoriamente y, debido a ello, el desgaste por fricción continúa siendo un problema. Además, los autores del documento WO2012104048 recomendaron usar recubrimientos de CrSiN. Además, el uso de procesos de nitruración y carbonitruración, así como otros tipos de tratamientos superficiales, tales como tratamientos con plasma y microestructuración, se menciona en el documento WO2012104048 como una alternativa para mejorar el rendimiento de herramientas de conformación de lámina metálica en caliente.

40 Asimismo, en el documento WO2011011129 se menciona que los recubrimientos que normalmente funcionan bien en condiciones de conformación en frío tienden a producir un rendimiento pobre en operaciones de conformación tibia y en caliente o en condiciones de carga de contacto elevado. Los autores del documento WO2011011129 supusieron que el bajo rendimiento de los recubrimientos en estas situaciones se puede atribuir a la incapacidad del recubrimiento para soportar aplicaciones cíclicas termomecánicas o de alta carga de contacto a las que se enfrentan, por ejemplo, en aplicaciones de conformación tibia y en caliente. Explican que en los procesos de conformación de metales tibia y en caliente, las herramientas están expuestas a condiciones termomecánicas y, por lo tanto, experimentan un alto gradiente térmico a través del grosor de la herramienta. Además, la superficie de la herramienta también está sujeta a ciclos de carga térmica cíclica y de tensión por tracción-compresión. En consecuencia, el ciclo de carga termomecánica de las herramientas en las operaciones de conformación tibia y en caliente también es significativamente diferente del de las herramientas en las operaciones de conformación en frío. Adicionalmente, el documento WO2011011129 propuso un recubrimiento que debería ser capaz de proporcionar una mejor vida útil así como propiedades de resistencia a la oxidación para formar herramientas utilizadas en aplicaciones de carga termomecánica que comprenden, por ejemplo, $TiC_xN_{(1-x)}$ o $TiMC_xN_{(1-x)}$, con M:Al o un elemento de transición de los Grupos 4, 5 y 6 de la tabla periódica, como recubrimiento inferior y que tiene un recubrimiento superior que incluye, por ejemplo, alúmina o fases que contienen aluminio.

55 **Objetivo de la invención**

Un objetivo de la presente invención es proporcionar una herramienta de conformación en caliente que tenga una vida útil mejorada y un rendimiento satisfactorio en la conformación de lámina metálica en caliente de láminas metálicas revestidas, recubiertas con recubrimientos basados en AlSi y Zn.

60 **Descripción de la invención**

La presente invención se refiere al uso de una herramienta de conformación en caliente recubierta con un recubrimiento duro según la reivindicación 1. La herramienta de conformación en caliente tiene un sustrato y un recubrimiento duro, en el que el recubrimiento comprende una capa dura de a-C:H:W. La herramienta de conformación en caliente es una herramienta de conformación de lámina caliente, mediante la cual: se deposita una capa dura de a-C:H:W como capa funcional, una capa de asentamiento de a-C:H:W depositada encima de dicha

capa de a-C:H:W funcional y una capa intermedia de Cr que se depositan entre el sustrato y el recubrimiento duro para mejorar la adhesión del recubrimiento duro al sustrato. Esta herramienta se utiliza en procesos de conformación de lámina en caliente para la fabricación de una pieza de trabajo, dicha pieza que es una lámina metálica revestida con un recubrimiento a base de Zn o un recubrimiento a base de AlSi. La pieza de trabajo es una lámina de metal de ultra alta resistencia capaz de exhibir una resistencia a la tracción de aproximadamente 1500 MPa o más después del estampado en caliente apropiado.

Algunos de los recubrimientos de a-C:H:W se depositaron mediante pulverización catódica utilizando una máquina Oerlikon Balzers RS50 a una temperatura de proceso o temperatura de sustrato inferior a 150 °C aplicando una rotación de sustrato de 2 veces. Se usaron dianas de cromo puro para la deposición mediante pulverización catódica de una capa intermedia de cromo como capa de adhesión que tiene un espesor de aproximadamente 0,6 µm. Para la deposición del recubrimiento de a-C:H:W funcional con un espesor global de aproximadamente 2,4 µm, se usaron cuatro dianas que contienen WC, cada diana que comprende aproximadamente el 6 % de Ni en porcentaje atómico. Las dianas de WC se pulverizaron en una atmósfera mixta de argón/acetileno. El flujo de acetileno fue mayor que el flujo de argón para todos los experimentos. Se aplicaron tensiones de polarización inferiores a 300 V en los sustratos. Adicionalmente para algunos experimentos, sobre el recubrimiento funcional de a-C:H:W, se depositó una capa de a-C:H:W usando un mayor flujo de acetileno.

Los recubrimientos del tipo a-C:H:W son recubrimientos de carbono de tipo diamante amorfo a rayos X que comprenden además de carbono e hidrógeno también wolframio; el wolframio puede estar disponible en el recubrimiento al menos parcialmente como carburo de wolframio (WC) incrustado en la matriz de hidrógeno de carbono amorfo (a-C:H). Este tipo de recubrimientos pertenecen al grupo de recubrimientos de a-C:H dopados con metales (a-C:H:Me) que se emplean frecuentemente en diferentes aplicaciones tribológicas, como por ejemplo, en piezas móviles en motores o cajas de engranajes, en componentes en máquinas que funcionan bajo altas cargas mecánicas o sobre herramientas para formar y cortar piezas de trabajo metálicas.

Debido a sus excelentes propiedades, como la baja fricción y la alta resistencia al desgaste, los recubrimientos de a-C:H:W se utilizan con frecuencia para mejorar el rendimiento de las herramientas utilizadas en las operaciones de conformación de lámina metálica en frío, en particular, para evitar la excoiación (acumulación de material) en la superficie de la herramienta (véase, por ejemplo, B. Podgornik et al. Surf, Coat Tech. 184 (2004) 338, P Carlsson et al., Surf, Coat. Tech. 200 (2006) 4654, F. Clarysse et al., Wear 264 (2008) 400 y EE Vera et al., Wear 271 (2011) 2116).

Como ya se ha mencionado anteriormente, el comportamiento de desgaste de la herramienta en aplicaciones de conformación de lámina caliente (la tecnología aplicada industrialmente se denomina estampado en caliente o endurecimiento a presión de aceros de ultra alta resistencia como 22MnB5 para la producción de piezas estructurales de automóviles como el pilar B) actualmente se enfrenta a graves fenómenos de excoiación, en particular cuando se utilizan láminas metálicas recubiertas (por ejemplo, AlSi o Zn) (véase, por ejemplo, J. Pujante et al., CHS2 proceedings 2011, página 377, J. Kondratiuk y cols. Wear 207). (2011) 839).

A pesar de que se carece de informes de la bibliografía sobre el rendimiento de los recubrimientos de a-C:H:W durante el estampado en caliente de láminas metálicas recubiertas, recientemente en el documento WO2012/104048A1 se ha afirmado, como ya se ha mencionado anteriormente, que los recubrimientos de a-C:H:W tienen un potencial bastante bajo para mejorar el rendimiento de la herramienta durante el estampado en caliente de láminas recubiertas de AlSi, como se puede leer a continuación (consulte la página 3, líneas 20-22): "Especialmente con aceros de resistencia ultra alta recubiertos con AlSi como USIBOR 1500 el fenómeno de excoiación podría no reducirse de manera satisfactoria..." Esta conclusión aparentemente está directamente relacionada con las investigaciones realizadas por F. Clarysse et al. Wear 264 (2008) 400. Sin embargo, como ya se ha mencionado anteriormente, estos estudios están relacionados con el rendimiento tribológico del recubrimiento durante la formación de una lámina metálica a temperatura ambiente, no con el rendimiento tribológico del recubrimiento durante la formación de una lámina metálica que excede las temperaturas de 500 °C, que no obstante, es el caso de los procesos de estampado en caliente.

Por otra parte, Clarysse et al. reportó en particular haber analizado un recubrimiento de a-C:H:W de la compañía Oerlikon Balzers que se conoce bajo el nombre de producto Balinit C con la abreviatura común WC/C. La recomendación general con respecto a la temperatura máxima de servicio es de 300 °C en base a la argumentación de que los recubrimientos de tipo DLC o DLC dopado (excepto, por ejemplo, DLC dopado con Si) pierden estabilidad química y mecánica a temperaturas superiores a 300 °C. Con estos antecedentes normalmente se asumirá que dichos recubrimientos no son adecuados para operaciones de conformación de metales en caliente en los que los recubrimientos están expuestos a temperaturas superiores a 500 °C, a pesar de que dichos recubrimientos pueden ser muy útiles para operaciones de conformación en frío.

Sin embargo, el inventor tuvo mucha curiosidad por evaluar el rendimiento real del recubrimiento para comprender con más detalle por qué los recubrimientos de a-C:H:W no son adecuados para aplicaciones de conformación de metales en caliente.

Para los experimentos, el inventor decidió probar los recubrimientos de a-C:H:W, como el recubrimiento de WC/C de la compañía Oerlikon Balzers, producido bajo el nombre de Balinit C.

Se realizaron investigaciones tribológicas a alta temperatura contra aceros de ultra alta resistencia (22MnB5) recubiertos (a base de AlSi y Zn) con el fin de proporcionar una base sólida para la evaluación del comportamiento de desgaste abrasivo y adhesivo de los recubrimientos de a-C:H:W. Como referencia para el análisis comparativo se utilizaron recubrimientos de AlCrN bien establecidos, así como sustratos cuya superficie se sometió a procesos de nitruración de plasma (en este caso en la parte superior se formó una capa compuesta de Fe-N con un espesor de aproximadamente 10 µm; en lo sucesivo, la capa de compuesto se abreviará con CL).

Se empleó una prueba de desgaste recíproco a alta temperatura (HT-SRV, Optimol Instruments GmbH) para permitir una caracterización eficiente del recubrimiento tribológico en el entorno de laboratorio (en la figura 1 se muestra un dibujo de la configuración de la prueba).

La parte inferior de la prueba consiste en una lámina de metal revestida 2 (22MnB5 recubierta con AlSi o Zn) que se calienta por primera vez hasta 900 °C para las láminas 22MnB5 revestidas con AlSi u 880 °C para las láminas 22MnB5 revestidas con Zn, respectivamente. Para calentar se usó un cartucho de calentamiento colocado debajo de la lámina metálica. La temperatura posteriormente se mantuvo constante durante aproximadamente 10 minutos y después de eso, la lámina metálica se enfrió a 600 °C para las láminas de 22MnB5 revestidas con AlSi o a 700 °C para las láminas de 22MnB5 revestidas con Zn, respectivamente. Poco antes del inicio de la prueba tribológica, la parte superior de la prueba, que consiste en un SRV-Pin 1 revestido, también se montó en el dispositivo, se cargó con 10 N sobre la superficie de la parte inferior y se colocó en movimiento deslizante recíproco a una frecuencia de 1 Hz durante 2,5 min (cubriendo una distancia de desplazamiento de varios milímetros).

Para obtener más información sobre el comportamiento de desgaste del recubrimiento en función del tiempo de prueba, se repitió la misma rutina de prueba de 2,5 minutos 10 veces seguidas utilizando para cada prueba una lámina de metal nueva (sin usar) pero manteniendo el recubrimiento SRV-Pin sin cambios.

Después de la prueba tribológica, el SRV-Pin revestido se transfirió al microscopio electrónico de barrido (SEM) y se caracterizó la pista de desgaste con un enfoque particular en el comportamiento de acumulación de material (es decir, desgaste adhesivo). Se usó una clasificación subjetiva de 1 a 5 para evaluar el desgaste adhesivo, donde 1 corresponde a "sin acumulación" y 5 corresponde a "acumulación muy significativa".

Además, el desgaste abrasivo se determinó cuantitativamente midiendo el espesor del recubrimiento (mediante el método de molienda de la calota) tanto en el exterior como en el interior de la pista de desgaste. Por lo tanto, fue posible obtener el desgaste abrasivo en % normalizado para un espesor de recubrimiento de 8 µm. Las propiedades de recubrimiento relevantes de las superficies examinadas (superficies recubiertas y nitruradas; nitruradas con la capa de compuesto CL) se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1: Resumen de las propiedades de recubrimiento particularmente relevantes

	Espesor del recubrimiento en µm	Coefficiente de desgaste abrasivo a temperatura ambiente $[m^3m^{-1}N^{-1} 10^{15}]$	Dureza del recubrimiento GPa	Coefficiente de fricción Al_2O_3 a ta	Oxidación a 600 °C durante 1 h en atmósfera ambiente
CL nitrurada	~10 µm (CL)	27,0	10 +/- 0,7	0,8	30 %
AlCrN	~3 µm	1,6	39 +/- 5	0,6	0 %
a-C:H:W	~3 µm	3,5	15 +/- 2	0,1	5 %

Los recubrimientos de a-C:H:W probados tenían un espesor total de recubrimiento de aproximadamente 3 µm. Se depositó una capa de cromo puro como capa de adhesión entre la superficie del sustrato y la capa de a-C:H:W funcional para lograr una mejor adhesión del recubrimiento. Los recubrimientos de a-C:H:W exhibían un espectro de rayos X amorfo como se muestra en la figura 5.

La resistencia al desgaste abrasivo de los recubrimientos de a-C:H:W examinados a ta (temperatura ambiente) frente a Al_2O_3 fue significativamente mayor en comparación con los sustratos de CL nitrurados, pero similarmente buena en comparación con los recubrimientos de AlCrN.

Se examinaron los recubrimientos de a-C:H:W probados que tienen una dureza global de aproximadamente 10 GPa así como de aproximadamente 15 GPa. Particularmente, los recubrimientos de a-C:H:W que exhiben una dureza de recubrimiento bastante moderada de aproximadamente 15 GPa mostraron un mejor comportamiento de desgaste.

El comportamiento de fricción a ta contra Al_2O_3 en condiciones secas se caracterizó por un coeficiente de fricción sobresaliente de aproximadamente 0,1.

La pista de desgaste en la superficie de recubrimiento, así como la pista de desgaste en la bola de Al_2O_3 , demuestran el rendimiento tribológico superior (véase la Fig. 2).

Además, para evaluar el rendimiento a alta temperatura en la atmósfera ambiente con respecto a la estabilidad estructural y química, se realizaron experimentos de recocido a 600 °C durante 1 hora en atmósfera ambiente. Los resultados con respecto al comportamiento de oxidación (es decir, la formación del espesor de la capa de óxido medido en los análisis de SEM en sección transversal) se muestran en la Tabla 1 en % normalizado a un espesor de recubrimiento de 8 µm. Los recubrimientos de a-C:H:W mostraron una buena resistencia a la oxidación a 600 °C durante 1 h en comparación con los sustratos de CL nitrurados, mientras que los recubrimientos de AlCrN estaban completamente libres de cualquier oxidación. Después del recocido a 600 °C durante 1 h, la superficie de los recubrimientos de a-C:H:W analizados mostró cambios microestructurales claramente visibles (véanse las imágenes de SEM mostradas en la Fig. 3).

Las micrografías de SEM transversales (ver Fig. 4 izquierda) revelaron la formación de una capa de óxido con un espesor en el intervalo de algunos cientos de nanómetros y los análisis de EDX de vista superior con voltaje de aceleración de 5 kV confirmaron que la capa de óxido consiste predominantemente en wolframio y oxígeno (ver Fig. 4 derecha). Finalmente, mediante XRD inequívocamente fue posible mostrar que la capa de óxido está compuesta de WO₃ ortorrómbico cristalino (véase la Fig. 5).

Además del comportamiento de oxidación a 600 °C durante 1 h, mediante los experimentos de recocido fue posible demostrar que los recubrimientos de a-C:H:W presentaron una buena estabilidad estructural en estas condiciones de recocido. La molienda Calo (ver Fig. 3), la micrografía de SEM transversal (ver Fig. 4 izquierda) así como la indentación HRC (ver Fig. 5) después del recocido a 600 °C durante 1 h mostraron claramente que se conserva el recubrimiento (son visibles algunas modificaciones microestructurales menores) que todavía exhiben una excelente adhesión al recubrimiento.

Además, la comparación del patrón de XRD tomado antes y después del recocido indica que la "joroba amorfa" que se origina en los recubrimientos de a-C:H:W "amorfo a rayos X" está más o menos inalterada, es decir, la estructura de los recubrimientos a-C:H:W no cambió significativamente después del recocido.

Los resultados de la prueba HT-SRV para el recubrimiento del tribosistema frente a AlSi/22MnB5 se muestran en la Tabla 2 y la Fig. 6. El desgaste adhesivo se evaluó con el número 1 como el mejor comportamiento y con el número 5 como el peor comportamiento; el desgaste abrasivo se informó como pérdida de recubrimiento en % normalizado a 8 µm. También se midió el coeficiente de fricción (CDF).

Tabla 2: Resultados obtenidos después de la prueba HT-SRV para el tribosistema que involucra recubrimiento vs. AlSi/22MnB5. Desgaste adhesivo: 1 mejor y 5 peor; Desgaste abrasivo: pérdida de recubrimiento en % normalizado a 8 µm

x = temperatura blanca del metal	HT-SRV-Prueba x = 600 °C, 1 x 2,5 min		HT-SRV-Prueba x = 600 °C, 10 x 2,5 min		CDF a 600 °C vs. lámina
	Abrasión	Adhesión	Abrasión	Adhesión	
CL nitrurada	10 %	1,5	20 %	2,5	1,4
AlCrN	0 %	3,5	0 %	5,0	1,2
a-C:H:W	0 %	1,25	20 %	1-25	0,3

Los recubrimientos de a-C:H:W probados mostraron, después de una prueba de 2,5 minutos, ausencia de desgaste abrasivo y casi sin desgaste adhesivo, lo que revela claramente el potencial de dichos recubrimientos de a-C:H:W para mejorar el rendimiento de las herramientas de conformación de metales en caliente, particularmente para mejorar el rendimiento de las herramientas de conformación de lámina metálica y mejorar el rendimiento de las superficies implicadas en las aplicaciones de estampación en caliente (véase Fig. 6).

Después de 10 repeticiones de la misma prueba de SRV de 2,5 min, los recubrimientos de a-C:H:W probados estaban más o menos libres de acumulación de AlSi, pero el desgaste abrasivo se convirtió en un problema. Sin embargo, el nivel de desgaste abrasivo era de la misma magnitud que para la superficie de la CL nitrurada aplicada industrialmente, que se puede tomar como una clase de referencia industrial, es decir, se puede suponer que este nivel de desgaste abrasivo es aceptable.

De forma muy llamativa, el coeficiente de fricción (CDF) es significativamente más bajo para a-C:H:W medido directamente durante la prueba contra AlSi/22MnB5 en comparación con el punto de referencia. El CDF es más pequeño por un factor de aproximadamente 4. El rendimiento superior de a-C:H:W podría estar relacionado con el CDF significativamente reducido.

El inventor descubrió de manera muy sorprendente que, a pesar del hecho ampliamente aceptado de que los recubrimientos de a-C:H y a-C:H dopado con metal (excepto recubrimientos de a-C:H:Si) tales como recubrimientos de a-C:H:W no son útiles para aplicaciones a altas temperaturas que exceden la temperatura de 300 °C, este tipo de recubrimientos pueden ser muy buenos candidatos prometedores para aplicaciones industriales de conformación de metales calientes, tales como estampado en caliente y laminado en caliente de aceros revestidos de ultra alta resistencia.

Los recubrimientos de a-C:H:W probados mostraron un comportamiento de desgaste abrasivo constante que es comparable a un punto de referencia industrial, sin embargo, es probable que la principal ventaja de este tipo de recubrimientos contra láminas recubiertas con AISi sea que permanecen casi libres de la acumulación de AISi en el funcionamiento a largo plazo (tras pruebas prolongadas).

Los resultados de la prueba HT-SRV para el recubrimiento del tribosistema frente a basados en Zn/22MnB5 se muestran en la Tabla 3 y la Fig. 7. El desgaste adhesivo se evaluó con números, el número 1 corresponde al mejor comportamiento y el número 5 corresponde al peor comportamiento, respectivamente. El desgaste por abrasión se informó como pérdida de recubrimiento en % normalizado a 8 µm. También se midió el coeficiente de fricción (CDF).

Tabla 3: Resultados obtenidos después de la prueba HT-SRV para el tribosistema que involucra recubrimiento frente a basados en Zn/22MnB5. Desgaste adhesivo: 1 mejor y 5 peor; Desgaste abrasivo: pérdida de recubrimiento en % normalizado a 8 µm

x = temperatura blanca del metal	HT-SRV-Prueba x = 700 °C, 1 x 2,5 min		HT-SRV-Prueba x = 700 °C, 10 x 2,5 min		CDF a 700 °C vs. lámina
	Abrasión	Adhesión	Abrasión	Adhesión	
CL nitrurada	0 %	3,0	15 %	30	1,4
AlCrN	0 %	3,0	0 %	3,5	1,4
a-C:H:W	0 %	1,0	0 %	1,0	0,6

Los recubrimientos de a-C:H:W probados muestran, después de una prueba de 2,5 minutos, ausencia de desgaste abrasivo y adhesivo y después de 10 repeticiones de la misma prueba de SRV de 2,5 min estos recubrimientos todavía estaban completamente libres de acumulación de ZnO_x, y, muy sorprendentemente, aún sin desgaste abrasivo. Estos resultados inesperados muestran claramente que los recubrimientos de a-C:H:W son particularmente muy prometedores para el estampado en caliente o la formación de lámina metálica en caliente de láminas metálicas recubiertas a base de Zn.

También es muy llamativo el coeficiente de fricción (CDF) significativamente menor para a-C:H:W medido directamente durante la prueba contra Zn/22MnB5 en comparación con el punto de referencia. El CDF es más pequeño en un factor de aproximadamente 2. El rendimiento superior de a-C:H:W podría estar relacionado con el CDF significativamente reducido. Como se ha mencionado anteriormente, ya se ha especulado que la lubricación del proceso podría ser útil para reducir el grado de microfisuración, en particular para láminas revestidas con Zn. Por lo tanto, el CDF reducido de a-C:H:W realmente podría ser relevante para la fabricación optimizada de láminas de metal recubiertas de Zn en las que la formación de microgrietas tras la formación es de importancia primordial.

Pie de las figuras

- Figura 1: Configuración de la prueba HT-SRV.
- Figura 2: Pistas de desgaste en recubrimientos de a-C:H:W y contracuerpo (bola de Al₂O₃) después de la bola tribológica en la prueba de disco.
- Figura 3: micrografías de vista superior de SEM, moliendas Calo e indentaciones HRC en las muestras como fueron depositadas y recocidas (600 °C durante 1 h).
- Figura 4: Micrografías de SEM transversales (fractura) (izquierda) y espectros de EDX desde la vista superior con voltaje de aceleración de 5 kV (derecha) de las muestras como fueron depositadas y recocidas.
- Figura 5: Patrón de XRD tomado antes y después del recocido a 600 °C durante 1 h.
- Figura 6: Micrografías de SEM de las pistas de desgaste después de una prueba de 2,5 min a 600 °C para recubrimiento de tribosistema frente a AISi/22MnB5. El material de construcción está basado en AISi.
- Figura 7: Micrografías de SEM de las pistas de desgaste después de una prueba de 2,5 min a 700 °C para recubrimiento de tribosistema frente a basados en Zn/22MnB5. El material de acumulación está basado en ZnO_x.

REIVINDICACIONES

1. Uso de una herramienta de formación recubierta que tiene un sustrato y un recubrimiento duro, el recubrimiento duro que comprende una capa de cromo como capa de adhesión, una capa dura de a-C:H:W depositada como capa funcional y una capa de inserción a-C:H:W depositada sobre dicha capa de a-C:H:W funcional dura, en el que la herramienta de conformación recubierta se usa como herramienta de conformación de lámina metálica en caliente para un proceso de conformación de lámina en caliente, en el que se procesa una lámina metálica recubierta con un recubrimiento a base de Zn o una lámina de metal revestida con un recubrimiento basado en AlSi, en el que la lámina metálica revestida que se procesa es una lámina metálica de ultra alta resistencia, y en la que la lámina metálica de ultra alta resistencia es una lámina metálica del tipo 22MnB5.

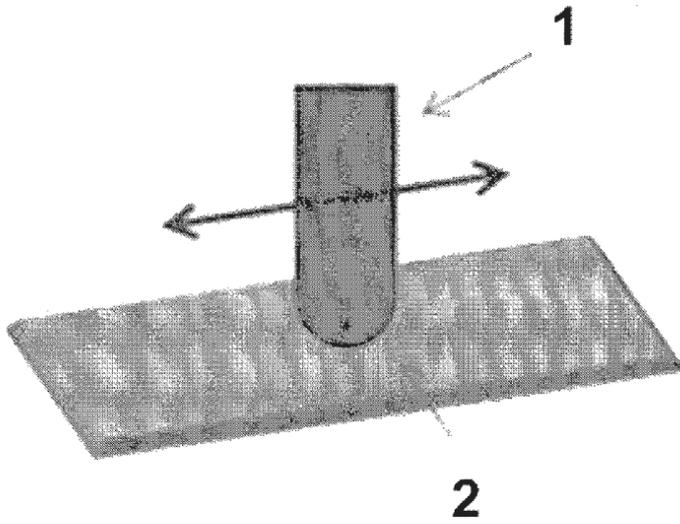


Figura 1

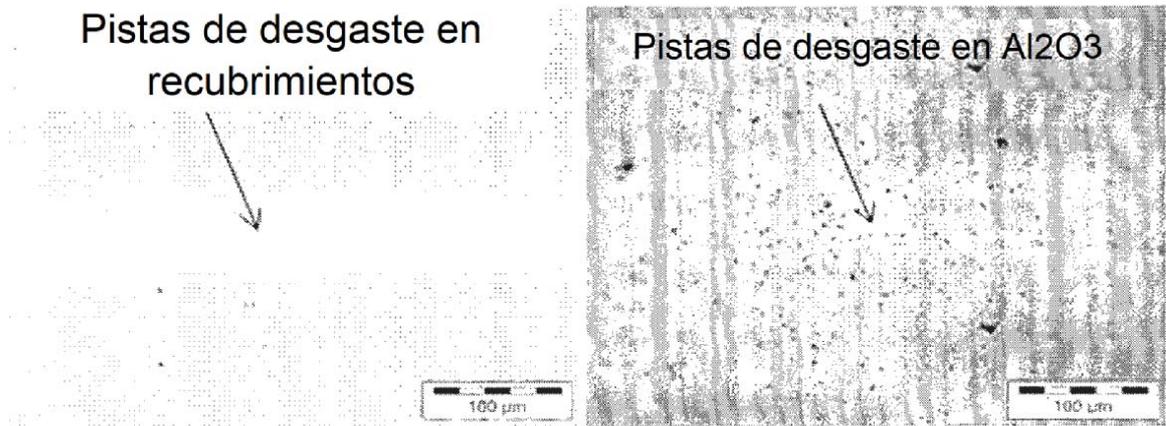


Figura 2

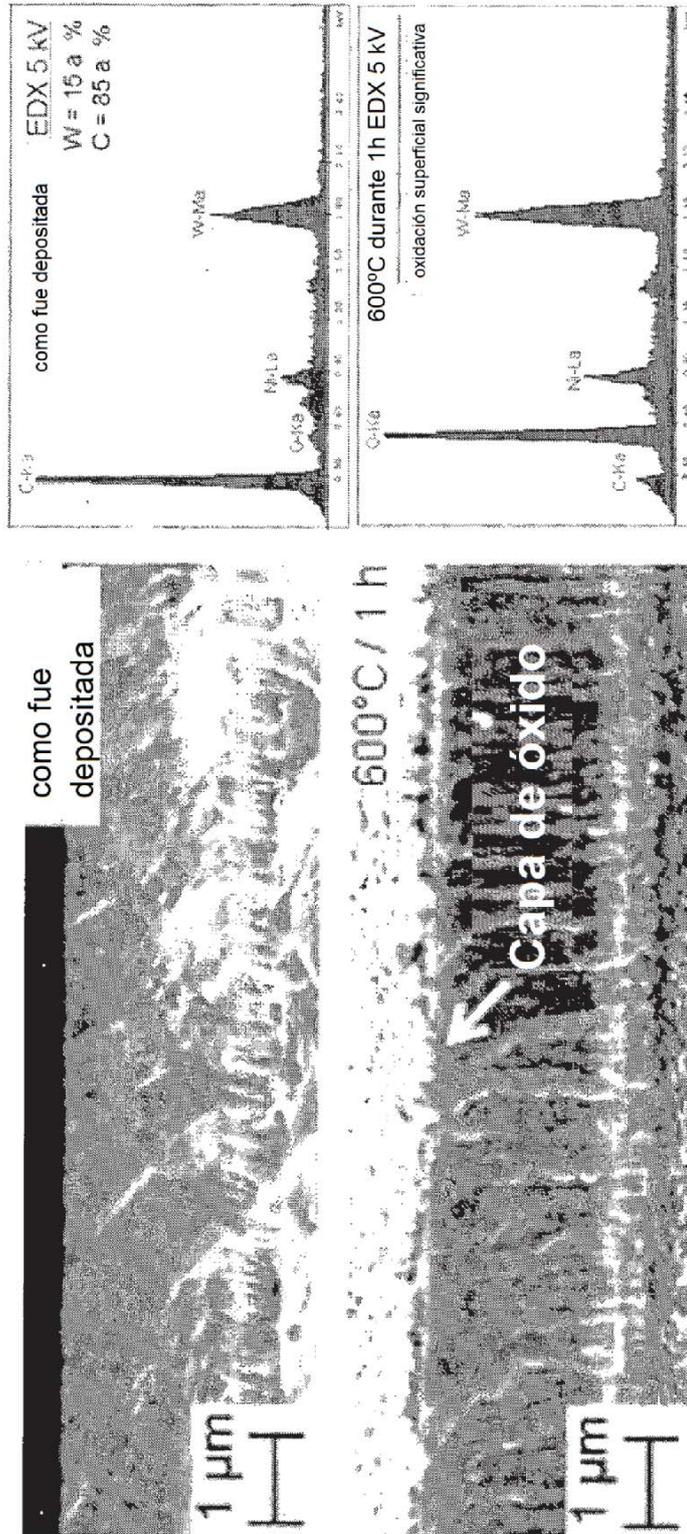


Figura 4

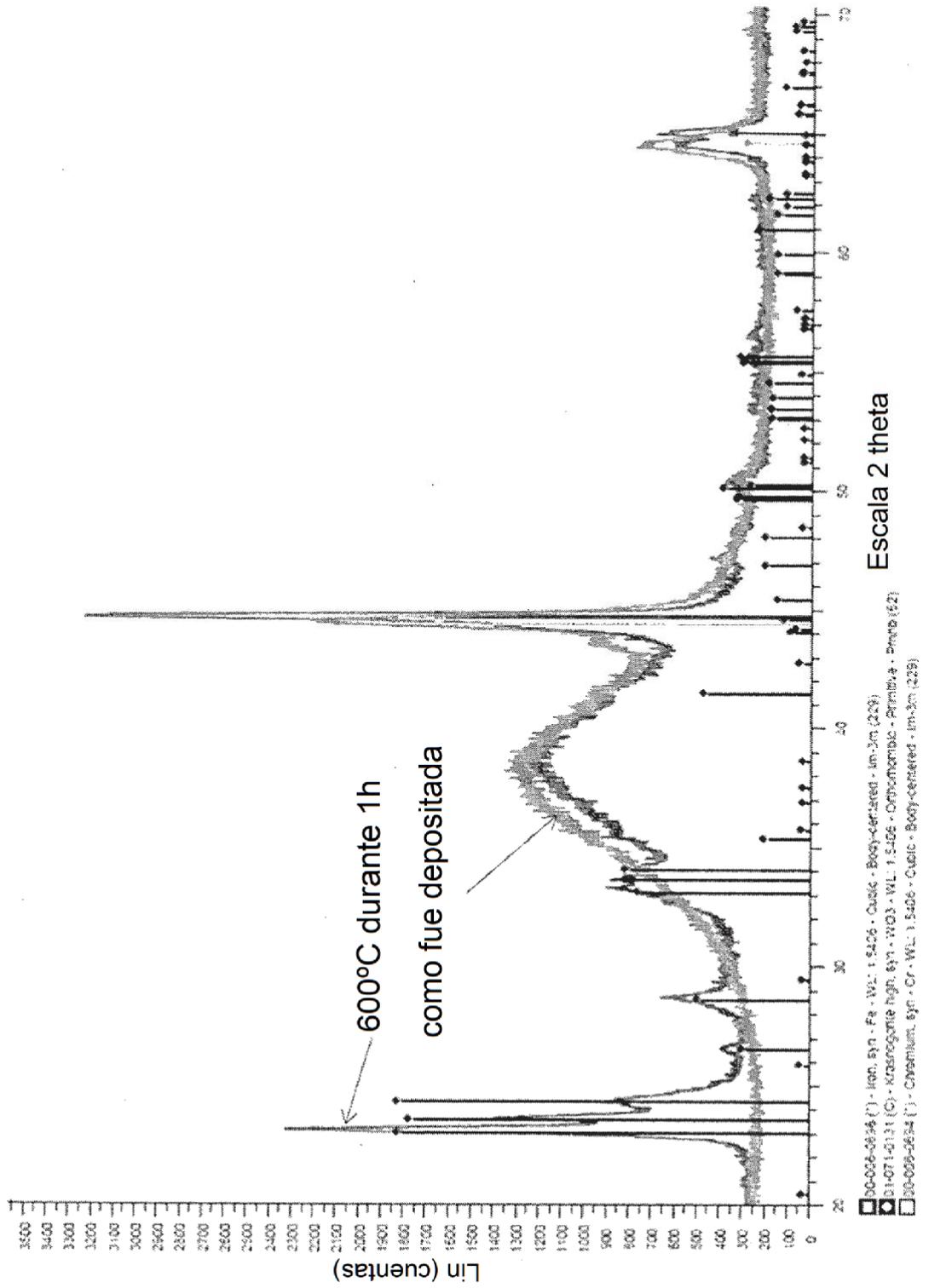


Figura 5

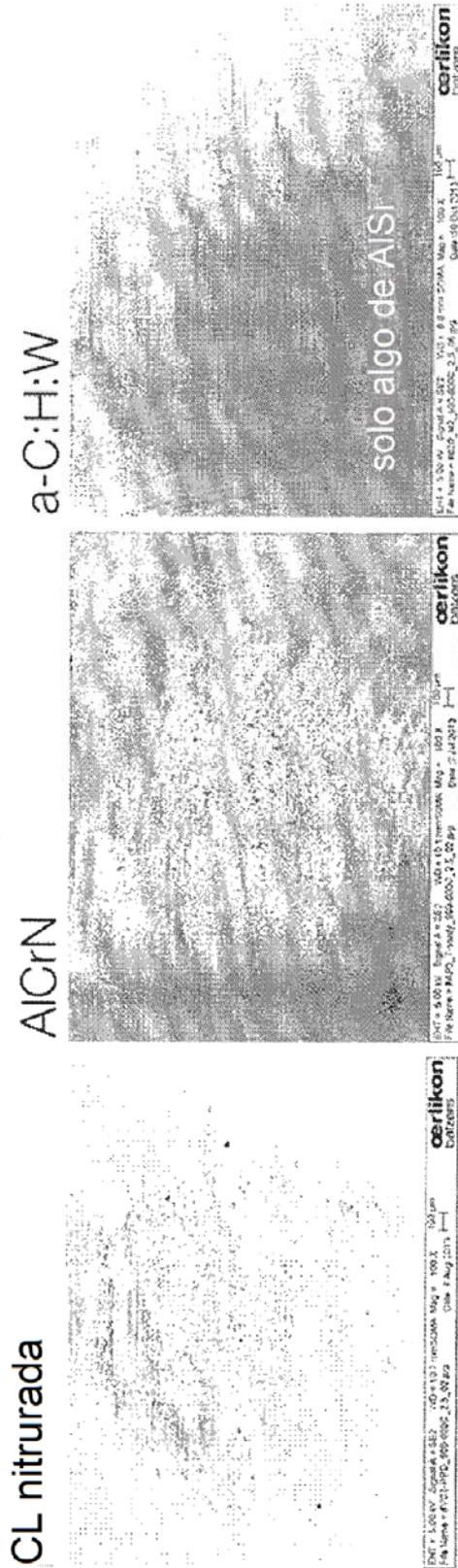


Figura 6

