

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 530 193**

51 Int. Cl.:

B24B 5/00 (2006.01)

B24B 31/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.08.2008 E 08795724 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.11.2014 EP 2195139**

54 Título: **Procedimiento para inspección y reconstrucción de componentes de ingeniería**

30 Prioridad:

28.08.2007 US 966417 P

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

27.02.2015

73 Titular/es:

**REM TECHNOLOGIES, INC. (100.0%)
325 WEST QUEEN STREET
SOUTHINGTON, CT 06489, US**

72 Inventor/es:

**MICHAUD, MARK D.;
SROKA, GARY y
WINKELMANN, LANE W.**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 530 193 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para inspección y reconstrucción de componentes de ingeniería

La presente solicitud reivindica la prioridad respecto de la solicitud provisional de Estados Unidos número 60/966 417 presentada el 28 de agosto de 2007.

5 Antecedentes de la invención

1. Campo de la invención

La invención se refiere en general a procedimientos de reconstrucción o restauración de componentes de metal de nuevo a un estado de funcionamiento aceptable utilizando técnicas de ingeniería superficie sustractivas que mantienen el componente dentro de tolerancias geométricas. El procedimiento es particularmente aplicable a componentes fabricados o terminados con tolerancias muy pequeñas que se utilizan en mecanismos de contacto de metal con metal y donde la especificación geométrica de fabricación original puede estar ausente o no disponible. El procedimiento se refiere además a un procedimiento de evaluación de tales componentes para reconstrucción y a los productos reconstruidos de los mismos.

2. Descripción de la técnica relacionada

Los componentes metálicos de alto valor usados, desgastados o dañados y los nuevos componentes dañados durante el almacenamiento, manipulación, montaje o transporte, incluidas levas, cigüeñales, cojinetes, engranajes y similares, a veces pueden ser reformados mediante rectificación o re-mecanizado (por ejemplo, fresado, torneado y similares) de las superficies usadas críticas del componente. Si la operación tiene éxito, el componente puede volver a ponerse en servicio a un coste menor de lo que hubiera sido si el componente se hubiera reemplazado por una pieza nueva. Para hacer esto, sin embargo, el maquinista debe tener una copia del dibujo de especificaciones técnicas (ESD) del componente u hoja de especificaciones equivalentes para poder restaurar correctamente las superficies críticas. El EDS contendrá información de todas las dimensiones utilizadas para el fabricante original del componente, las tolerancias en todas las dimensiones, el material y el tratamiento térmico del componente, y similares. Esta información es necesaria para permitir que el maquinista frese o vuelva a mecanizar correctamente las superficies críticas del componente e inspeccione los resultados.

Además, a menudo se requiere un utillaje específico de componentes (CST) complejo y costoso para determinar el componente de metal para cualquier operación de rectificado o re-mecanizado y/o inspecciones específicas del componente. El maquinista debe tener un conjunto de este CST, o ser capaz de fabricar herramientas adecuadas para determinar y/o inspeccionar el componente.

Como la reconstrucción se hace a menudo en un centro que no es el del fabricante de equipos originales (OEM), el ESD y/o CST es probable que no esté disponible y probablemente inalcanzable del OEM. De hecho, muchos fabricantes de equipos originales no pueden obtener sus ESDs a disposición de terceros. Con toda probabilidad, entonces, estos componentes serían desechados a un gran coste. En muchos casos, los componentes de recambio ya no se fabrican o requieren un largo plazo de entrega para su compra. Esto puede conducir a una costosa disponibilidad de la máquina perdida o a la retirada prematura de la máquina completa de la que procedía el componente utilizado.

Además, incluso si el ESD y el CST están disponibles, se necesita una cantidad considerable de mano de obra y equipos caros en organizar y llevar a cabo el proceso de rectificación o mecanizado adicional. Para solamente un elemento individual, el coste de re-mecanizado no puede justificar el esfuerzo requerido. Este suele ser el caso si una sola máquina se reforma; tendrá que ser reformado un pequeño número de diferentes componentes con diferentes formas y tamaños. El coste de la reconstrucción mediante un proceso de rectificado o mecanizado adicional puede ser demasiado caro para ser comercialmente viable.

Un problema adicional es el de retener las tolerancias originales. En ciertas circunstancias, el rectificado podrá eliminar, o retirar, tanto material que el componente se convierta en insuficiente. Esto no siempre se puede determinar antes de iniciar el trabajo y los altos niveles de chatarra en tales procesos aumentan considerablemente el coste global del trabajo. Por lo general, una operación de rectificado comprenderá la configuración y la alineación del componente en el molino o torno, la realización de una primera pasada, la inspección y el ajuste de la alineación del componente y la realización de un pase posterior para eliminar la cantidad deseada de material. A veces, pueden ser necesarias una serie de pasadas sólo para conseguir la alineación correcta. En ciertos procesos, la cantidad mínima de material que puede ser molido de manera efectiva en una sola pasada es de 10-20 micrómetros. Si se requieren tres pasadas para completar el componente, tanto como 60 micrómetros pueden haber sido eliminadas. Por ejemplo, un diente de engranaje en el que el material ha sido retirado de ambas caras del diente, puede dar como resultado un cambio dimensional total de 120 micrómetros.

Un problema adicional es que estos procedimientos de reconstrucción pueden dar como resultado el movimiento del material de la superficie, la deformación, la impregnación, el desgarro, erosión y/o la superposición metal. Estas formas de tensión del material, a continuación llamadas como "distorsión de la superficie" pueden enmascarar la

eficacia de las técnicas de inspección, de manera que el daño de la superficie no pueda ser identificado, y el componente podría ser puesto de nuevo en servicio sin haber sido restaurado con éxito.

El superacabado de componentes de ingeniería en una etapa final de la producción ha sido conocido durante una serie de años. Un procedimiento de superacabado es un procedimiento de acabado por vibración acelerado químicamente disponible por parte de REM Chemicals, Inc. El procedimiento utiliza una química activa, tal como una solución de fosfato ligeramente ácido que se introduce con el componente en un aparato de acabado vibratorio junto con una cantidad de medios no abrasivos. La química es capaz de formar un revestimiento de conversión relativamente blando sobre la superficie metálica del componente. La acción vibratoria de los elementos del medio sólo retirará el revestimiento de los picos de asperezas, dejando las áreas deprimidas del revestimiento intactas. Mediante la humectación constante de la superficie del metal con la química activa, el recubrimiento se reforma continuamente, cubriendo las áreas donde el metal subyacente al descubierto ha sido recién expuesto, para proporcionar una nueva capa. Si esa porción sigue siendo más alta que las áreas adyacentes, continuará siendo frotada hasta que cualquier rugosidad haya sido prácticamente eliminada. Una descripción general de este proceso de superacabado se proporciona en las patentes del solicitante Nos. US 4.491.500, 4.818.333 y 7.005.080 y las publicaciones de patente números US 2002-0106978 y US 2002-0088773. La aplicación de un proceso de este tipo a superficies de engranajes de gran tamaño se describe en el documento WO2004/108356. Un proceso se describe en el documento EP 1286020 para la reparación de un aspa de turbina. Un revestimiento superior de cerámica se elimina mediante granallado o similar. Una solución de retirada se puede utilizar para eliminar un revestimiento de unión, antes de la inspección visual. El documento EP 1561542 describe un proceso similar. En el documento US 3751861, conjuntos de cojinetes completos han sido reconstruidos mediante un proceso de medios abrasivos.

Se han realizado estudios para determinar la utilidad de este tipo de procesos en la reconstrucción de engranajes usados. Sobre la base de estos estudios se ha determinado que incluso un efecto beneficioso se puede lograr en la eliminación de daños tales como daños por objetos extraños (FOD), rayado, micropicaduras, picado, desconchado, corrosión, y similares. La medida en que los componentes podrían ser reconstruidos se determinó hasta ahora mediante la profundidad del daño de acuerdo con una inspección inicial de las piezas. Para engranajes donde la profundidad del daño fue menor de 0,1 x, la AGMA (Asociación Americana de Fabricantes de Engranajes) recomienda una holgura máxima, la reconstrucción se consideró generalmente posible. Para daños que superan esta profundidad, la pieza generalmente se recomienda para chatarra. Con base en esta evaluación de los daños, una gran proporción de los engranajes evaluados inicialmente no se consideraron adecuados para su reconstrucción. Además, de esos componentes donde se realizó la reconstrucción usando superacabado, un número de los componentes se desechó posteriormente después del tratamiento debido a la presencia de un daño excesivo que sólo se hizo evidente en el tratamiento. En estos casos, no sólo fue el componente descartado, sino que el tiempo necesario para realizar un ciclo de reconstrucción completo también fue desperdiciado.

Están disponibles procedimientos para pruebas no destructivas de componentes metálicos para determinar la extensión del daño superficial. Sin embargo, estos procedimientos, que incluyen fotomicrografía e inspección penetrante fluorescente son muy complejos y su rendimiento aumenta mucho el coste global de un procedimiento de reconstrucción. Por consiguiente, sería deseable tener un procedimiento mejorado para la evaluación de componentes candidatos a la reconstrucción que permitiera que más componentes que recuperaran sin añadir innecesariamente al coste y al tiempo total por componente recuperado con éxito.

Breve resumen de la invención

Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento de reconstrucción o inspección de un componente de ingeniería para daños sub-superficiales, utilizando un proceso vibratorio acelerado químicamente (CAV) para retirar material de las superficies críticas desgastadas o dañadas del componente, como se describe en la reivindicación 1. Las reivindicaciones dependientes describen realizaciones adicionales de la invención. Al realizar la determinación de daños sólo después de realizar inicialmente el proceso CAV, sorprendentemente se ha encontrado que la mejora de la precisión se puede conseguir evaluando candidatos para la reconstrucción, ya que este procedimiento de eliminación de material no causa distorsiones de la superficie. De esta manera, el número de candidatos para recibir el proceso de reforma completa se puede aumentar y se reduce el número de componentes reformados posteriormente desechados debido a daños de determinación incorrecta. El trabajo adicional de realizar el proceso inicial para eliminar la primera cantidad de material puede ser compensado por la reducción en los componentes desechados. Del mismo modo, se elimina la posibilidad de devolver incorrectamente un componente de servicio debido a la distensión de la superficie después del procedimiento de rectificación o mecanización adicional debido al enmascarado del daño subyacente durante la inspección cuando se utiliza este proceso CAV.

En el presente contexto, "realizar inicialmente el proceso" se entiende para referirse al hecho de que esta etapa se realiza antes de la retirada de cualquier otro material del propio componente. Esto no excluye que otro material en la superficie del componente pueda ser eliminado, incluyendo grasa, suciedad, oxidación, coquización, impregnación de escombros y otras capas de revestimiento.

La inspección puede realizarse mediante cualquier procedimiento convencional, adecuado para determinar la extensión del daño aparente. En este contexto, "extensión" se entiende que cubre cualquier medida adecuada del

- daño, incluyendo pero no limitado a la profundidad, el área, la rugosidad etc. En este contexto, "profundidad" se entiende que es el punto más profundo normal a la superficie; "área" se entiende que se refiere al área de los daños en el plano de la superficie; "aparente" pretende referirse al hecho de que el daño es visible desde el exterior, ya sea a simple vista o con ampliación, con o sin marcador o penetrante fluorescente. La referencia al hecho de que la
- 5 determinación de daños se realiza después de realizar inicialmente el proceso pretende referirse al hecho de que no se realiza ninguna preselección inicial (por ejemplo, descarte) de los componentes sobre la base de las condiciones de la superficie antes de realizar el proceso CAV. Se entenderá que la selección y el descarte de los componentes debido al daño visible a escala macro tales como dientes rotos o cojinetes puede realizarse en una etapa temprana antes del procesamiento.
- 10 Un procedimiento preferido de inspección se realiza mediante la identificación visual y el marcado de daños tales como FOD, desgaste o micropicaduras en un área bien iluminada, registrando fotográficamente las ubicaciones mediante un instrumento de medición, tal como una regla, tomando medidas del perfilómetro directas a través de los daños y la documentación de la extensión del daño. Del mismo modo, otro procedimiento preferido de la inspección es el procedimiento de elevación de grafito y de cinta descrito por McNiff, B; Musial, W.; Errichello, R.; "Documenting the Progression of Gear Micropitting in the NREL Dynamometer Test Facility"; Actas de la Conferencia WindPower 2002 de la Asociación Americana de Energía Eólica, 3-5 de junio de 2002, Portland, Oregón, Washington, DC: Asociación Americana de Energía Eólica, 2002; 5pp. Este procedimiento de elevación de grafito y de cinta es particularmente útil para la asignación de las ubicaciones de los daños para su comparación durante las fases de reparación de la reconstrucción del componente.
- 15
- 20 A continuación, las referencias a procesos CAV tienen la intención de referirse a procesos de aplanado capaces de eliminar material simultáneamente de las superficies tratadas de un componente de metal en cantidades pequeñas, sustancialmente uniformes y controladas sin causar distorsiones de la superficie. Los procesos CAV pueden realizarse de manera simple o en grandes cantidades de componentes a la vez. Los procesos que caen dentro de la definición de los procesos CAV incluyen, pero no se limitan a, acabado por vibración acelerado químicamente
- 25 mediante procesos de medios no abrasivos, procesos de medios abrasivos, acabado de arrastre, máquinas de rebabar de husillo, máquinas de discos centrífugos, rotación de medios abrasivos, rotación de abrasivos sueltos, máquinas de desbarbar de husillo, máquinas de discos centrífugos, procesos Abral™ y procesos a base de pasta. Los procedimientos preferidos son isotrópicos en naturaleza y no causan sustancialmente ninguna traza residual orientada no direccionalmente en las superficies acabadas.
- 30 Mediante el uso de un proceso CAV, cantidades mínimas de material pueden ser retiradas de al menos las superficies críticas desgastadas o dañadas de forma segura y rentable. Por lo tanto, se puede lograr la reconstrucción de componentes metálicos usados de alto valor. De particular importancia a tener en cuenta es que un proceso CAV retira material sin distorsión de la superficie y, por lo tanto, expone una imagen real para la inspección de las propiedades de la superficie resultante. En particular, una vez que se ha eliminado la capa superficial del componente metálico, el verdadero alcance de micropicaduras, picaduras, rasguños, corrosión o agrietamiento por fatiga dinámica puede determinarse mejor. En particular, se ha encontrado que la presencia y/o extensión del daño del subsuelo, tales como microfisuras del subsuelo sólo pueden hacerse evidentes y/o pueden medirse después de la eliminación de la capa exterior a través del proceso CAV. Otros procesos que incluyen el mecanizado (rectificado, torneado), pulido, chorro de arena, distorsionan físicamente la superficie. Esta distorsión de
- 35 la superficie puede cubrir realmente o exacerbar el daño sub-superficial, haciendo una determinación posterior del daño menos precisa y posiblemente volviendo a dar servicio a un componente que no ha sido reconstruido con éxito.
- 40 Los procesos CAV propuestos también se cree que son más a prueba de fallos que los procesos de rectificado o remecanizado utilizados anteriormente. En particular, son menos susceptibles a la configuración de fallos debido a la ubicación incorrecta de un componente en la máquina de tratamiento. Además, los procesos de rectificado y de mecanizado pueden ser propensos a daños metalúrgicos conocidos como quemado por templado. Estos procesos de mecanizado por lo general requieren una inspección de grabado final para asegurarse de que el quemado por templado no arruina el componente. La presente invención no requiere la inspección de quemado por templado, aunque se entiende que ésta puede realizarse por otras razones.
- 45 De acuerdo con una realización preferida de la invención, el procedimiento puede comprender: realizar CAV durante un corto periodo de tiempo para descubrir daños en la superficie; inspeccionar la superficie; determinar la extensión del daño de la superficie y predecir inicialmente la retirada de material - si la predicción de retirada de material excede de la tolerancia geométrica, el componente se descarta - si la predicción de retirada de material está dentro de la tolerancia geométrica aceptable entonces continúa; realizar CAV para descubrir daños sub-superficiales; monitorizar la superficie del componente para determinar la extensión o la presencia de daño sub-superficial y modificar la estimación inicial de retirada de material si es necesario - si la predicción de la retirada de material excede la tolerancia geométrica, el componente se descarta - si la predicción de retirada de material está dentro de la tolerancia geométrica aceptable, entonces continúa; continuar el CAV para eliminar la retirada de material predicha; finalmente inspeccionar las superficies tratadas para determinar si el componente es adecuado para su reutilización. De esta manera, el progreso de los daños sub-superficiales se puede observar cuando se retira el
- 50 material y puede realizarse una determinación en cuanto de si y cuándo un componente ha sido satisfactoriamente reconstruido.
- 55
- 60

En particular, se ha encontrado que un indicador importante para el proceso CAV no siempre es la profundidad total de los daños, sino el punto de máxima área superficial de los daños o un punto de máxima rugosidad de la superficie. La eliminación inicial del material de la superficie puede hacer que el daño aparente crezca en extensión. Este daño enmascarado queda expuesto en la eliminación de material. Una vez que se ha alcanzado su máxima extensión y comienza a disminuir en área y/o profundidad y/o rugosidad, el proceso puede terminarse, aunque permanecen daños tales como micropicaduras residual o picaduras de corrosión. De esta manera, el componente puede ser tratado con éxito a pesar de que la profundidad de los daños sea mayor que podría eliminarse de manera aceptable sin hacer que el componente esté fuera de tolerancia. Se señala en este contexto que la propia micropicaduras no es necesariamente perjudicial y puede permanecer estable durante el uso prolongado. La eliminación del metal cortado, enmascarado e inestable se cree que deja un área de micropicaduras residuales generalmente estabilizada que no va a crecer o producir más residuos cuando esté nuevamente en servicio. Más información sobre la naturaleza de la micropicaduras y otros daños de superficie y por debajo de la superficie se proporciona mediante la referencia anterior por R.L. Errichello.

De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, para componentes que tienen daños que comprenden, por ejemplo, micropicaduras, el procedimiento puede incluir la determinación de una extensión y de la localización de al menos ciertas áreas de micropicaduras, por lo que durante etapas posteriores, la profundidad, la rugosidad y/o el área de superficie de las áreas de micropicaduras se controla y el proceso se termina una vez que éste ha indicado una tendencia en la reducción. Esto se puede determinar observando un punto en que una medición posterior revela la extensión del daño, que es igual o preferiblemente menor que una extensión del daño determinada previamente. Según una ventaja importante de los procesos CAV, como el componente no tiene que ser "ajustado" o localizado con precisión, puede retirarse fácilmente para su inspección, si es necesario. Además, como el proceso CAV es efectivamente un proceso continuo, la inspección puede repetirse tan frecuentemente como se desee, lo que permite una monitorización extremadamente precisa de la evolución de la eliminación del daño. Como se comprenderá, esta monitorización incremental no es posible para procedimientos de mecanizado que eliminan una cantidad determinada de material en cada pasada. Mediante el uso de un perfilómetro, un calibrador, una regla, un micrómetro, un cupón de testigo, un indicador y/o el procedimiento de elevación de grafito y de cinta, puede realizarse el proceso CAV mientras se asegura que el componente se mantiene dentro de la tolerancia geométrica basada sólo en el conocimiento general del componente, tal como su grado de calidad.

De acuerdo con otra ventaja más de la invención, el procedimiento puede terminarse sobre la base de una cantidad de daño restante o cuando el daño se ha eliminado sustancialmente. Como resultado de una monitorización precisa de los daños en términos de profundidad y de extensión, y de la naturaleza incremental de la eliminación de material mediante CAV, el punto en el que se elimina sustancialmente el daño puede determinarse con precisión. En este contexto, "sustancialmente eliminado" se puede definir en una base de caso por caso según el acabado deseado requerido. Puede elegirse como el punto donde, por ejemplo, el daño más profundo que se está tratando: el daño ha desaparecido por completo; la profundidad del daño es menor del 5% de su profundidad original; la profundidad de daño es inferior a 10 micrómetros; el área de daño es menor del 50%, 30% o 10% de su extensión original; la rugosidad de la superficie está disminuyendo; Ra es menor de 0,25 micrómetros.

Según una realización preferida del procedimiento, se elimina un espesor de entre 0,1 micrómetros y 10 micrómetros de material durante las etapas iniciales del proceso CAV. Esta cantidad de material se ha encontrado apropiada para revelar la medida inicial de un daño real en la mayoría de los casos. Se entiende que mayores o menores cantidades de material pueden ser eliminadas en etapas posteriores para revelar, controlar y eliminar adicionalmente los daños. El cálculo de las cantidades posteriores de material para la eliminación puede estar basada en la inspección después del procesamiento inicial.

Un aspecto importante de la invención es el control de la cantidad de material eliminado. Para muchos procesos CAV, se puede usar un cupón de testigo del mismo o similar material que el componente bajo reconstrucción. Este se somete a las mismas condiciones que el componente y su reducción en el tamaño puede controlarse utilizando un micrómetro. Este procedimiento es, sin embargo, sensible a ciertos factores. El cupón de testigo debe ser de la misma o similar composición metalúrgica que el componente para ser consumido en la misma proporción. Además, debido a su geometría distinta, su reducción en el tamaño no será idéntica a la del componente. Alternativamente, para un procedimiento conocido, la eliminación de material puede estar basada en el tiempo de procesamiento. En el caso del proceso preferido de acabado de vibración acelerada químicamente, el operador puede saber que ciertos grados de acero se consumen a un ritmo de 1 micrómetro por hora y ajustar el proceso en consecuencia. Dicho proceso también está sujeto a errores, ya que, para un componente desconocido, por ejemplo, se requiere una estimación del grado de acero y otros factores tales como la corrosión o el acabado superficial que pueda afectar al resultado. De acuerdo con un aspecto preferido de la invención, el procedimiento puede controlarse mediante indicadores de profundidad previstos en la superficie del componente a procesar. Estos pueden ser ranuras, muescas, patrones o similares de la profundidad o de la geometría conocida por la cual la eliminación de una cantidad dada de material hace que el indicador cambie o desaparezca. Dichos indicadores pueden proporcionarse en una o más ubicaciones en las superficies relevantes y pueden proporcionarse para indicar una profundidad o una serie de profundidades. Los indicadores de profundidad pueden ser también en forma de marcas conocidas ya presentes en el componente, por ejemplo, en el caso de componentes de ingeniería, se puede usar la eliminación de líneas de molienda residuales. Aunque la profundidad de dichas líneas de molienda puede variar entre los componentes, su uso se ha encontrado sorprendentemente conveniente, ya que su profundidad está generalmente

relacionada con la calidad y las tolerancias del componente que se está renovando: un componente de alta tolerancia puede tener líneas de molienda residuales muy finas de 1 micrómetro de profundidad, mientras que un componente de menor tolerancia podría tener líneas de molienda de profundidad de 10 micrómetros. La eliminación de las líneas de molienda (u otros indicadores) puede evaluarse fácilmente in situ mediante inspección visual usando, por ejemplo 10 aumentos. El indicador también puede ser utilizado para calibrar el proceso para su posterior eliminación de material. Por lo tanto, si 2 micrómetros se eliminan en 1 hora de procesamiento usando acabado de vibración acelerada químicamente, se podría esperar un proceso de ocho horas para eliminar 16 micrómetros.

En una realización ventajosa de la invención, el procedimiento puede realizarse en una pluralidad de componentes usados, por lo que después de realizar inicialmente el proceso, en la inspección, esos componentes se descartan cuando la magnitud del daño es mayor que una cantidad permisible predeterminada (por ejemplo, cuando se relevan grietas de fatiga dinámicas). De esta manera, miles de componentes pueden ser reconstruidos a la vez de una manera particularmente rentable. Al realizar el procedimiento inicial en todos los componentes y la inspección sólo después de este proceso, se puede lograr un aumento de la eficiencia y una mayor tasa de recuperación global (es decir, reducir los desperdicios). Más preferiblemente, la pluralidad de componentes usados pueden ser reconstruidos de forma simultánea, con lo cual, al menos durante el proceso CAV, los componentes están sometidos a las mismas condiciones de proceso.

De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, para grandes lotes de componentes, todos los componentes pueden ser sometidos a procesamiento CAV sin inspección inicial durante un periodo de tiempo predeterminado sobre la base de una cantidad máxima de material calculada estadísticamente que ha de eliminarse. A continuación, las piezas pueden ser inspeccionadas, ya sea individualmente o por medio de muestras y se pueden hacer la determinación de si las partes son aceptadas o desechadas. En este caso particular, no hay que hacer ningún tratamiento adicional, ya que la retirada de material se calcula inicialmente para lograr la máxima eliminación estadísticamente aceptable mientras permanece en la tolerancia geométrica.

Para el procesamiento por lotes, los componentes pueden ser idénticos o diferentes. El procesamiento simultáneo puede realizarse así en un gran número de componentes idénticos o un número de diferentes componentes, por ejemplo, todos los engranajes, ejes, cojinetes, etc. desde una única máquina. Como no se requiere un ajuste individual, los componentes pueden, al menos inicialmente, tratarse fácilmente juntos y, por lo tanto, estar sujetos a las mismas condiciones del proceso. Esto puede ser beneficioso, por ejemplo, desde una perspectiva de control de calidad, ya que se podía esperar que la prueba de un componente para su acabado superficial se aplique igualmente a otro componente. Esto puede ser aplicable en particular cuando todos los componentes son metalúrgicamente similares, pero también se pueden aplicar en los casos de materiales diferentes. En ciertas circunstancias, partes de los componentes que no están destinadas para el tratamiento pueden enmascarar o pueden estar enmascaradas tras la finalización parcial del procedimiento.

El proceso CAV puede realizarse a través de equipos de acabado en masa, tales como tazones y tinas vibratorias, máquinas de acabado de arrastre y husillo y similares, utilizando procesos de mecanizado vibratorios acelerados químicamente con medios abrasivos o no abrasivos. Un procedimiento más preferido es un proceso de superacabado vibratorio acelerado químicamente. Este proceso ha demostrado ser extremadamente eficaz en la producción de un acabado isotrópico de muy baja rugosidad de superficie (Ra de menos de 0,1 micrómetros). Además, tiene la ventaja añadida de que picaduras de corrosión residuales pueden estabilizarse, ya que la química activa de fosfato templado tiene la capacidad de convertir el óxido férrico en fosfato férrico, inhibiendo así la propagación adicional.

Según una ventaja importante de la invención, el proceso CAV es capaz de lograr un acabado superficial Ra de menos de 0,25 micrómetros. De esta manera, no sólo se renueva el componente, sino también se beneficia de las ventajas conocidas de superficies ultra suaves superacabadas. Esto se puede conseguir en un solo procedimiento en una sola instalación.

En general, el procedimiento se puede realizar sin hacer referencia a dibujos de especificación de ingeniería del componente o a una hoja de especificaciones equivalentes. Las personas que realizan el procedimiento, por lo tanto, están menos limitadas por las restricciones que pueden ser impuestas por el fabricante - en particular, en circunstancias en que el EDS puede incluso no ponerse a disposición de terceros. Los mismos procesos y equipos CAV pueden así también ser utilizados para reconstruir geoméricamente diferentes componentes económicamente, sea unos pocos en número o muchos miles. Lo más importante, el procedimiento necesita mucha menos mano de obra, tiempo y gasto de instalar y de procesamiento que el proceso de rectificad o mecanizado adicional y no causa distorsión de la superficie que pueda enmascarar el daño de la superficie. El proceso también puede realizarse sin el uso de herramientas específicas de componentes, lo que resulta en una reducción de gasto considerable para, por ejemplo, trabajos individuales. Sin embargo, no se excluyen que ciertos utillajes específicos puedan ser necesarios para elevar, soportar y desmontar componentes, etc.

En una realización, la invención se refiere además a un componente de ingeniería reconstruido de acuerdo con el procedimiento descrito anteriormente. El componente reconstruido puede tener una cantidad de material eliminado, suficiente para estabilizar el daño debido a, por ejemplo, daños por objetos extraños, marcado, micropicaduras, picaduras, desconchado, corrosión y similares. El componente puede, en particular, distinguirse por la presencia de

daño residual estabilizado.

Más preferiblemente, el componente tiene superficies acabadas con una rugosidad superficial Ra de menos de 0,25 micrómetros, aunque también pueden lograrse acabados de menos de 0,1 micrómetros o incluso menos de 0,05 micrómetros. Significativamente, en el caso de daños a mayor escala tales como FOD, los bordes de las picaduras pueden ser aplanadas mediante el proceso sin inducir más distensión a la región.

El componente de acuerdo con la invención puede ser cualquier componente de ingeniería de metal seleccionado entre el grupo que consiste en: engranajes, árboles, cojinetes, pistones, ejes, levas, asientos, juntas. La invención también se considera que incluye conjuntos de componentes, por ejemplo, para una sola máquina, en la que cada componente ha sido terminado mediante el mismo proceso en la misma condición final.

En otro aspecto, la invención se refiere a un procedimiento para la inspección de componentes de ingeniería usados para sus daños sub-superficiales, utilizando un proceso de ingeniería de superficie de sustracción para eliminar el material de las superficies críticas del componente, comprendiendo el procedimiento: realizar el proceso sobre los componentes para retirar una cantidad de material de las superficies; inspeccionar las superficies de los componentes para determinar una extensión de daño aparente; y sobre la base de la inspección, determinar si el componente es adecuado para la reutilización o si el componente se debe desechar. En una forma simple de la invención, todos los componentes se pueden procesar una cantidad suficiente para mantener el componente dentro de la tolerancia requerida. La determinación puede entonces realizarse sobre la base de, por ejemplo un tamaño máximo absoluto o de la profundidad del daño residual. Siguiendo el procedimiento así descrito, sin realizar la inspección y la primera preselección de los componentes sobre la base de los daños en la superficie, puede conseguirse un aumento beneficioso en la eficiencia para la reconstrucción, evitando los costes y la inexactitud de un procedimiento de decisión temprana.

En una realización preferida, el procedimiento puede comprender adicionalmente la realización además de al menos un ciclo de inspección de eliminación de material y la inspección antes de que se haga la determinación. El ciclo de inspección se puede repetir hasta que la extensión del daño aparente se haya estabilizado. Por ejemplo, para micropicaduras, esto puede comprender determinar un tamaño, la profundidad y/o la rugosidad de al menos una región de micropicaduras y comparar esto con una medida determinada en un ciclo anterior. El proceso puede, por ejemplo, terminarse si el grado de micropicaduras es inferior al determinado en un ciclo anterior. Por otra parte, el proceso puede terminarse en el punto en que el daño se haya eliminado sustancialmente. Otras características del procedimiento de inspección pueden ser sustancialmente como se describe anteriormente en el contexto de reconstrucción.

Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas de la invención se apreciarán con referencia a los siguientes dibujos, en los cuales:

Las figuras 1A - D muestran registros de elevación de grafito de un diente de un engranaje de turbina eólica en diversas etapas durante su reconstrucción de acuerdo con una realización de la invención;

Las figuras 2A - D muestran trazas de perfilómetro a través de una región de micropicaduras del diente registrado en las figuras 1A - D; y

Las figuras 3A, B muestran trazas de perfilómetro a través de una región de micropicaduras para un diente de acuerdo con un segundo ejemplo de realización de la invención.

Descripción de realizaciones ilustrativas

Ejemplo 1

La siguiente es una descripción de una realización ejemplar de la invención, realizada en un engranaje de anillo de fase de entrada de una turbina eólica de 52" (130 cm), como se detalla en la Tabla I.

Componente: Tabla I	
Uso Industrial	Engranaje de turbina eólica
Descripción del engranaje	Corona dentada, Interna
Número de dientes	86
Tamaño del engranaje (aproximado como medido)	OD - 58,5 pulgadas (149 cm), ID - 50,25 pulgadas (128 cm), diámetro de raíz 52,0 pulgadas (130 cm), Altura del diente – 1,25 pulgadas (31,8 mm), Ancho de cara – 12,75 pulgadas (32,4 cm).
Material	Acero, endurecido (templado continuo, nitrurado o carburizado - Desconocido)

5 El engranaje fue desempacutado del material de envío y fue inspeccionado visualmente para daños a escala macro, tal como dientes rotos o agrietados y FOD significativo. Para el propósito del ejemplo, los daños en la superficie tales como FOD, corrosión, micropicaduras y picaduras macro se documentaron con fotografías, elevación de grafito y perfilometría, usando el perfilómetro de acuerdo a la Tabla II.

Perfilómetro: Tabla II	
Fabricante	Mahr
Modelo	M4Pi
Traza Longitud (Lt)	0,06 pulgadas / 1,5 mm
Corte (Lc)	0,01 pulgadas / 0,25 mm
Filtro	Gaussiano
Varianza (Escala de impresión)	100 micropulgadas/2,5 micrómetros

10 La figura 1A muestra una elevación de grafito de lo que se sospecha que es micropicaduras en el flanco de un diente, posteriormente identificado como diente 1. Una flecha indica el área de daño para la medición del perfilómetro. Esta área fue elegida como un lugar de medición a modo de ejemplo debido a la gravedad de los daños y a la singularidad de la marca de daños, haciendo que sea fácil de encontrar durante toda la prueba.

La figura 2A es la traza de rugosidad de superficie del perfilómetro a través del área de micropicaduras identificada en el diente 1, que indica Ra - 18 micropulgadas (0,457 micrómetros), Rmax - 158 micropulgadas (4,0 micrómetros) y Rz - 90 micropulgadas (2,29 micrómetros). La escala vertical de la traza es de 100 micropulgadas (0,25 micrómetros). Los resultados se muestran en la Tabla VII a continuación.

15 El engranaje se cargó en una cubeta vibratoria según la Tabla III llena con el medio de acuerdo con la Tabla IV y se suministrada con la química de refinamiento de acuerdo con la Tabla V.

Equipo de procesamiento: Tabla III	
Tipo de máquina	Cubeta vibratoria
Tamaño	600 litros
Ajuste de alimentación	55 HZ
Amplitud	4 mm
Ángulo	70-80 grado
Medio: Tabla IV	
Tipo	Cerámica cocida, de alta densidad, no abrasiva
Nombre comercial	FERROMIL® Media # 9
Forma	Tricyl
Tamaño	3/8 pulgadas (9 mm)
Química de refinamiento: Tabla V	
Nombre comercial	FERROMIL® FML-590
Concentración	15% v/v diluida con agua
Caudal	6 galones (27 litros) por hora
Tiempo	4 horas

20 La máquina se inició junto con el flujo de la química de refinamiento. El engranaje fue totalmente sumergido bajo el medio y completamente humedecido con la química de refinamiento. La cubeta vibratoria tenía un flujo continuo de la química de refinamiento en la misma en todo momento. La cubeta vibratoria no estaba equipada con una válvula de drenaje, de tal manera que la química de refinamiento drenaba continuamente desde tres lugares de drenaje ranurados separados. El engranaje se procesó durante una hora de refinamiento y luego se retiró de la cubeta para su inspección. La cubeta vibratoria y el flujo de la química de refinamiento fueron detenidos durante la inspección. Un diente fue localizado, limpiado con un paño húmedo y secado.

25 El cambio en el área de micropicaduras en el diente 1 se documentó con una elevación de grafito, como se muestra en la figura 1B. Se observó una reducción en el área general de la micropicaduras y una reducción de las líneas de

molienda residuales realizadas durante la fabricación original del engranaje. La rugosidad superficial Ra, Rmax y Rz fue documentada por perfilometría en la misma ubicación que durante la inspección inicial, como se indica mediante la flecha en la figura 1B. El engranaje también se inspeccionó visualmente en un área bien iluminada para determinar si se revelaban más daños después de que el procesamiento inicial. Durante esta inspección no se observó una gran cantidad de daño FOD en la mayoría de los dientes. El daño FOD principal fue visto durante la inspección de los daños macro, pero su extensión se hizo más evidente después de la transformación primaria y de la inspección. Las lecturas del perfilómetro indicaron que la rugosidad de la superficie había aumentado después del período de procesamiento inicial a Ra - 29 micropulgadas (0,737 micrómetros), Rmax - 427 micropulgadas (10,8 micrómetros) y Rz - 154 micropulgadas (3,91 micrómetros). Este aumento de la rugosidad superficial (Ra, Rmax y Rz) es una indicación de que no había "distorsión de la superficie", que enmascarara la verdadera profundidad del daño observado en la superficie.

A continuación, el engranaje fue procesado durante otra hora de refinamiento y fue retirado para su inspección. La cubeta vibratoria y el flujo de la química de refinamiento fueron detenidos durante la inspección. El diente 1 fue localizado, limpiado con un paño húmedo y secado. La reducción en el área micropicaduras en el diente 1 se documentó mediante una elevación de grafito, como se muestra en la figura 1C, que muestra una reducción en el área micropicaduras. También puede verse que las líneas de molienda residuales impartidas durante la fabricación original de los engranajes se han eliminado sustancialmente.

La rugosidad superficial Ra, Rz y Rmax fue documentada por perfilometría en la misma ubicación que durante la inspección inicial. La figura 2C es la traza de rugosidad de la superficie a través del área de micropicaduras identificada en el diente 1 durante la inspección inicial. Indica valores para Ra - 11 micropulgadas (0,279 micrómetros); Rmax - 282 micropulgadas (7,16 micrómetros); y Rz - 71 micropulgadas (1,80 micrómetros). Se observa que la rugosidad de la superficie ha disminuido desde el valor medido después de la primera hora de procesamiento.

El engranaje se procesó posteriormente durante dos horas más de refinamiento y luego se retiró para su inspección. La cubeta vibratoria y el flujo de la química de refinamiento fueron detenidos durante la inspección. El diente 1 se localizó, se limpió con un paño húmedo y se secó. El cambio en el área de micropicaduras en el diente 1 se documentó con una elevación de grafito, como se muestra en la figura 1D. Ahora puede verse que la extensión del daño se ha reducido significativamente y las líneas de molienda se han eliminado completamente.

La rugosidad superficial (Ra, Rmax y Rz) fue documentada por perfilometría en la misma ubicación que durante la inspección inicial. La figura 2D es la traza de la rugosidad superficial a través del área de micropicaduras identificada en el diente 1 durante la inspección inicial. Indica valores para Ra - 3 micropulgadas (0,076 micrómetros); Rmax - 23 micropulgadas (0,58 micrómetros); y Rz - 17 micropulgadas (0,43 micrómetros). Se observa que la rugosidad superficial ha disminuido durante el proceso extendido a un valor significativamente inferior a los valores iniciales.

El engranaje se consideró reconstruido después de la inspección de 4 horas sobre la base de una disminución constante de la rugosidad y del área de daño residual de la superficie y un valor de Ra por debajo de 12 micropulgadas (0,3 micrómetros). El daño de la superficie residual restante fue pequeño en un área individual y ampliamente separado, de tal manera que un área de superficie estabilizada significativa permaneció entre el daño residual. Además, todas las líneas de molienda realizadas durante la fabricación original se retiraron de los flancos de los dientes. No se observaron nuevos daños al finalizar el proceso, sin embargo, el daño residual es evidente a través de la inspección visual y la elevación de grafito.

El engranaje se colocó de nuevo en la cubeta vibratoria para la etapa de pulido del proceso utilizando la química de pulido de la Tabla VI.

Química de pulido: Tabla VI	
Nombre comercial	FERROMIL® FBC-295
Concentración	1% v/v diluido con agua
Caudal	50 galones por hora (225 l/h)
Tiempo	1,5 horas

La química de refinamiento se detuvo. La química de pulido se introdujo en la cubeta para retirar la química de refinamiento de la cubeta y eliminar el recubrimiento de conversión que se formó durante la etapa de refinamiento de las superficies del engranaje. El engranaje se pulió durante 1,5 horas y se considera completa. La inspección visual final indicó que una pequeña cantidad de daño residual se mantuvo en el diente 1 después del proceso. Sobre la base de las mediciones anteriores, se estima que no más de 400 micropulgadas (10 micrómetros) de material se retiró de cada flanco del diente durante las 4 horas de procesamiento.

Según los resultados como se divulga en la Tabla VII, se puede observar que los valores de la rugosidad de la superficie medida aumentaron después del procesamiento inicial durante una hora. Después de una hora adicional de procesamiento, estos valores fueron una vez más de una magnitud similar a las regiones originales. Después de

4 horas de procesamiento, se podría observar una marcada reducción en la rugosidad y el alcance general del daño se redujo significativamente.

Valores de rugosidad: Tabla VII				
	Condición inicial	1 hora	2 horas	4 horas
Ra (micrómetros)	0,457	0,737	0,279	0,076
Rmax (micrómetros)	4,00	10,8	7,16	0,58
Rz (micrómetros)	2,29	3,91	1,80	0,43

5 La evaluación cualitativa de las partes también indicó que la extensión global de los daños se redujo significativamente.

Ejemplo 2.

Se procesó un segundo engranaje planetario de fase de entrada grande de acuerdo con la Tabla VIII.

Componente: Tabla VIII	
Uso Industrial	Engranaje de turbina eólica
Descripción del engranaje	Piñón planetario
Número de dientes	16
Tipo de engranaje	Helicoidal
Material	Acero, endurecido (nitrurado o carburado - Desconocido)

10 El engranaje fue desempaquetado del material de envío y fue inspeccionado visualmente para daños a escala macro. Los daños en la superficie como FOD y micropicaduras se documentaron con fotografía, perfilometría y técnicas de elevación de grafito. La figura 3A es la traza de la rugosidad superficial a través de un área de micropicaduras usando el perfilómetro de acuerdo a la Tabla IX con una escala vertical de 10 micrómetros.

Perfilómetro: Tabla IX	
Fabricante	Hommel
Modelo	T1000
Longitud de traza (Lt)	1,50 mm
Corte (Lc)	0,250 mm
Filtro	ISO 11562 (M1)

15 De acuerdo con la inspección inicial, se registraron los valores de la rugosidad superficial de Ra - 0,68 micrómetros, Rmax - 7,63 micrómetros y Rz - 4,02 micrómetros.

El engranaje se cargó en la cubeta vibratoria según la Tabla X que contiene el medio de acuerdo con la Tabla V anterior.

Equipo de procesamiento: Tabla X	
Tipo de máquina	Cubeta vibratoria
Tamaño	1200 litros
Ajuste de alimentación	55 HZ
Amplitud	4 mm
Ángulo	N/A

20 La máquina se inició junto con el flujo de la química de refinamiento como se indica en la Tabla IV anterior, pero a un caudal ligeramente mayor de 32 litros/hora. El engranaje fue totalmente sumergido bajo el medio y completamente humedecido con la química de refinamiento. El engranaje se procesó durante seis horas de refinamiento y un máximo de aproximadamente 15 micrómetros fueron retiradas en base al conocimiento previo de la tasa de eliminación de material correspondiente aproximado para nuevos componentes. El engranaje fue inspeccionado periódicamente. La inspección consistió en parar la cubeta y la química de refinamiento, separando el medio unos

25

pocos dientes y evaluando visualmente el progreso de la eliminación de daños. Al llegar al máximo tiempo/material de eliminación permitido, el flujo de la química de refinamiento fue detenido y el flujo de química de pulido se inició inmediatamente usando la química de pulido de la Tabla VI. El engranaje se pulió durante 3 horas y que se consideró completo.

5 Los daños en la superficie, como FOD y micropicaduras, se documentaron con técnicas de fotografía, perfilometría y elevación de grafito. La figura 3B es la traza de la rugosidad superficial en un área de micropicaduras a una escala vertical de 1 micrómetro. Indica valores de Ra - 0,07 micrómetros, Rmax - 0,94 micrómetros y Rz - 0,61 micrómetros. La inspección visual final indicó micropicaduras residual que permanece en los dientes después del proceso. Los resultados de elevación de grafito mostraron que el área de micropicaduras no se redujo significativamente, pero la medición del perfilómetro indicó que la profundidad se redujo significativamente. La monitorización visual del componente durante el proceso indicó que el daño era estable y no se observó ningún nuevo daño. El área de daño residual de la superficie tenía un valor de Ra por debajo de 0,3 micrómetros. El engranaje se procesó en el ciclo de refinamiento para la cantidad de tiempo indicada para asegurar que todas las líneas de molienda realizadas durante la fabricación original se retiraron de los flancos de los dientes. Basándose en estas observaciones, la parte se consideró renovada.

Por motivos de claridad, no todas las posibles implementaciones de los procedimientos de la presente invención se describen en el presente documento. Se aprecia que durante el desarrollo y la ejecución de la realización efectiva de los procedimientos, se pueden hacer numerosas decisiones específicas de la implementación para lograr objetivos específicos, tales como el cumplimiento de las limitaciones relacionadas con el sistema y relacionadas con el negocio, que pueden variar de una implementación a otra. Además, se apreciará que tales esfuerzos de desarrollo podrían ser complejos y consumir mucho tiempo, pero no obstante, sería una rutina para aquellos con experiencia ordinaria en la técnica que tengan el beneficio de esta divulgación.

Modificaciones adicionales, además de las descritos anteriormente, se pueden hacer a las estructuras y a las técnicas descritas en el presente documento sin apartarse del alcance de la invención. En consecuencia, aunque se han descrito realizaciones específicas, estas son sólo ejemplos y no son limitativas respecto del alcance de la invención, que están definidas mediante las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 5 **1.** Un procedimiento de reconstrucción o la inspección de un componente de ingeniería para daños sub-superficie, utilizando un proceso vibratorio acelerado químicamente para eliminar material de superficies críticas desgastadas o dañadas del componente, siendo el componente un engranaje, árbol, rodamiento, pistón, eje, leva, asiento o junta, comprendiendo el procedimiento:
- a) realizar el proceso sobre el componente para eliminar una cantidad de material de las superficies;
 - b) inspeccionar las superficies del componente para determinar una extensión del daño aparente;
 - c) sobre la base de la inspección, determinar si:
 - 10 i. el componente está suficientemente reconstruido para su reutilización; o
 - ii. el componente debe ser achatarrado.
- 2.** El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende realizar además al menos un ciclo de inspección adicional mediante el cual para cada ciclo de inspección se repiten al menos las etapas a), b) y c).
- 3.** El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el ciclo de inspección se repite hasta que la extensión del daño aparente se ha estabilizado.
- 15 **4.** El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2 ó 3, en el que el daño comprende micropicaduras, la etapa b) comprende determinar una extensión de al menos una región de micropicaduras y la etapa c) comprende la comparación de la extensión de la región de micropicaduras con una extensión determinada en un ciclo anterior.
- 5.** El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, en el que el proceso se termina cuando la extensión de la región de micropicaduras es menor que la determinada en un ciclo anterior.
- 20 **6.** El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el proceso se termina cuando el daño ha sido retirado sustancialmente.
- 7.** El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que durante la etapa a), se retira un espesor de entre 0,1 micrómetros y 10 micrómetros de material.
- 25 **8.** El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, para la inspección de una pluralidad de componentes usados, por medio de lo cual la etapa a) se realiza simultáneamente para todos los componentes bajo las mismas condiciones de proceso.
- 9.** El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el proceso para retirar el material de las superficies se realiza para lograr un acabado superficial Ra de menos de 0,25 micrómetros.
- 30 **10.** El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que se realiza sin hacer referencia a ningún dibujo de especificación de ingeniería del componente ni a una hoja de especificaciones equivalentes.
- 11.** El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el proceso se realiza sin el uso de herramientas específicas de componente.
- 35 **12.** El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende además proporcionar un indicador sobre una superficie a tratar y la inspección del indicador para determinar una cantidad de material retirado.

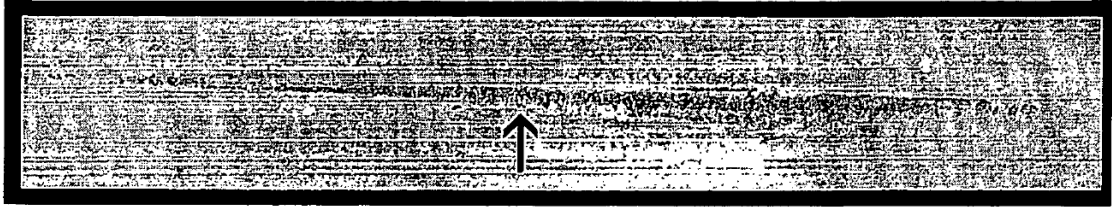


Fig 1.A

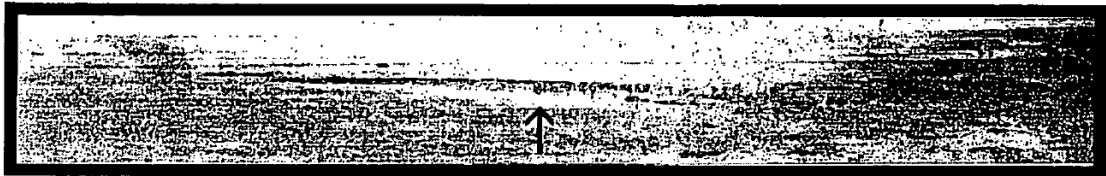


Fig 1.B

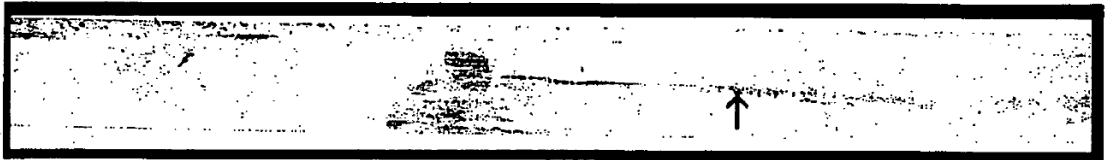


Fig 1.C



Fig 1.D

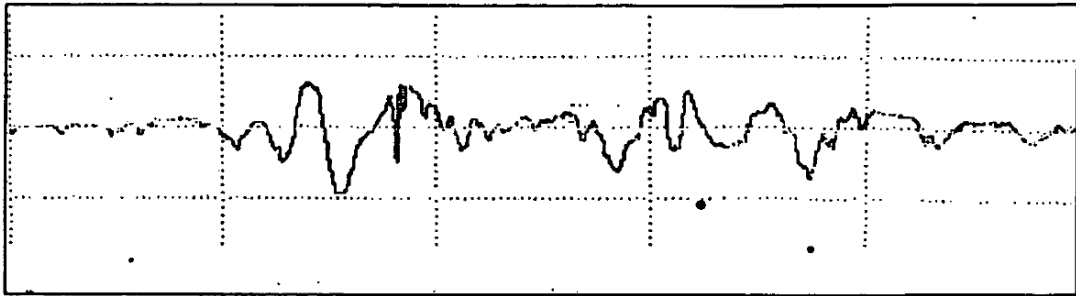


Fig. 2A

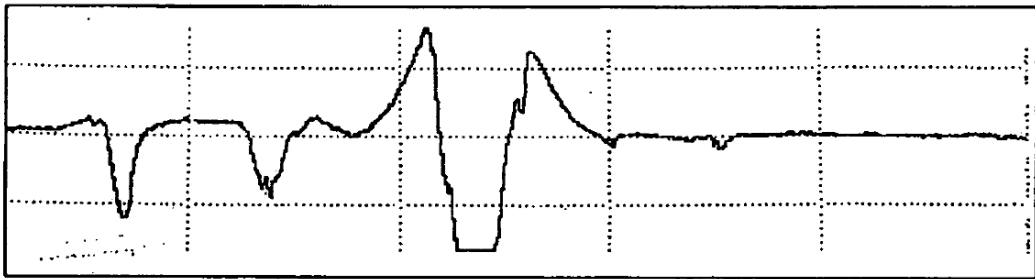


Fig. 2B

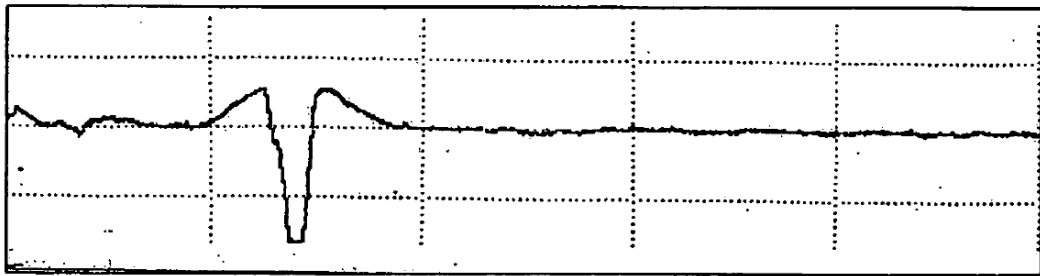


Fig. 2C

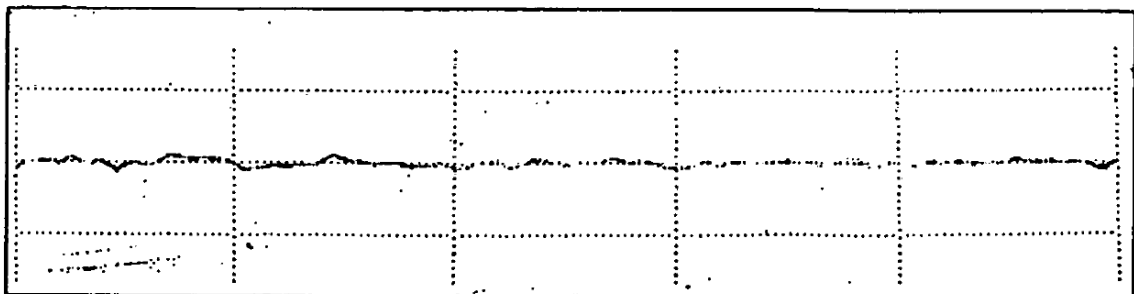


Fig. 2D

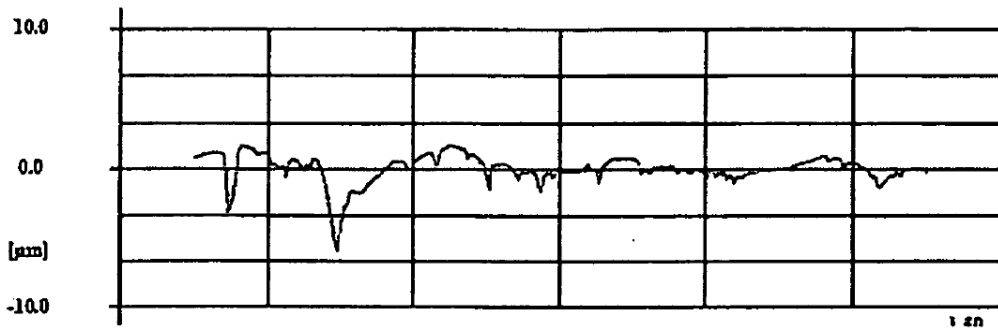


Fig 3.A

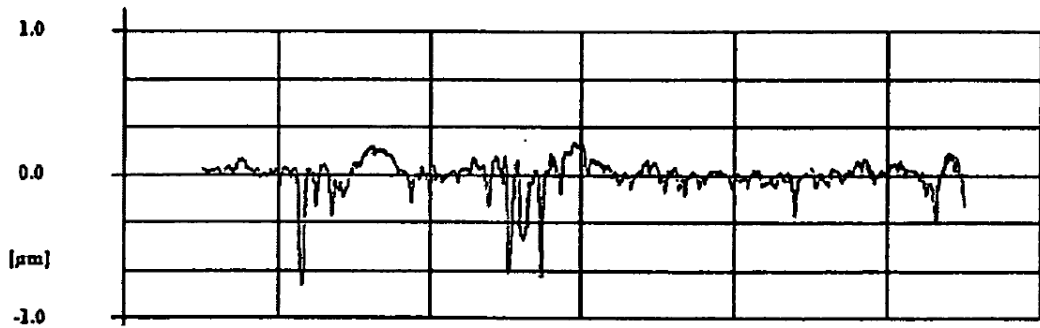


Fig 3.B