



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 360 343**

51 Int. Cl.:

B23C 3/06 (2006.01)

B23P 15/00 (2006.01)

B23P 13/00 (2006.01)

B21H 7/18 (2006.01)

C21D 7/08 (2006.01)

B21D 3/08 (2006.01)

B24B 5/42 (2006.01)

B23P 9/02 (2006.01)

B23P 23/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07725504 .0**

96 Fecha de presentación : **24.05.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **2021144**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.02.2009**

54

Título: **Procedimiento para el mecanizado de los asientos de cojinete de los cojinetes principales y cojinetes de elevación de los cigüeñales.**

30

Prioridad: **26.05.2006 DE 10 2006 024 715**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
03.06.2011

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
03.06.2011

73

Titular/es:
NILES-SIMMONS INDUSTRIEANLAGEN GmbH
Zwickauer Strasse 355
09117 Chemnitz, DE

72

Inventor/es: **Naumann, Hans J.**

74

Agente: **Riera Blanco, Juan Carlos**

ES 2 360 343 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).

ES 2 360 343 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para el mecanizado de los asientos de cojinete de los cojinetes principales y cojinetes de elevación de los cigüeñales.

La invención se refiere a un procedimiento para el mecanizado de los asientos de cojinete de los cojinetes principales y cojinetes de elevación de los cigüeñales, en el que los asientos de cojinete de los cojinetes principales y cojinetes de elevación se someten a varias operaciones de mecanizado después de la formación original del cigüeñal por forja o fundición.

Los asientos de cojinete de los cojinetes principales y los cojinetes de elevación de cigüeñales se mecanizan usualmente con arranque de viruta en varias etapas. Según una serie de mecanizado típica en este sentido, los asientos de cojinete del cigüeñal forjado o fundido se desbastan en primer lugar por rotación, fresado o vaciado rotativo, luego se mecanizan de forma intermedia por rectificación y finalmente se someten a un mecanizado de acabado. En particular, para proteger los asientos de cojinete frente a deterioros en el transcurso de la fabricación posterior, el mecanizado comprende regularmente también el endurecimiento y a continuación el rectificado para llevar los asientos de cojinete, después de que han sido endurecidos, a sus dimensión final.

Así el prospecto de empresa de la empresa Hegenscheidt, Erkelenz, del año 1983 con el título “Technologie der Kurbelwellen - Bearbeitung zur Steigerung von Qualität und Lebensdauer (Tecnología de los cigüeñales - mecanizado para el aumento de la calidad y vida útil)” describe una “serie de mecanizado para cigüeñales alojados 5 veces de 4 cilindros” (a continuación este documento se denomina de forma abreviada como Do).

La serie de mecanizado conocida comprende 25 operaciones para el mecanizado completo de un cigüeñal (compárese Do, páginas 8 y 9). No todas las operaciones de mecanizado efectuadas son interesantes para la presente invención. Aquí son interesantes las operaciones 04, 05, 06, 09, 10, 11, 12, 13, 14 y 22 a. Las operaciones 04 a 06 pueden someterse bajo el concepto “conformación por mecanizado con arranque de viruta con filo de corte definido”. Alternativamente a las operaciones 09 y 10, endurecimiento y distensión, se indica la operación 22 a, laminado de acabado; es decir, compactar las superficies no endurecidas de los asientos de cojinete. Luego en cada caso se realiza un rectificado de acabado de los asientos de cojinete de los cojinetes principales y cojinetes de elevación conforme a las operaciones 13 y 14.

También se ha propuesto repetidamente el fresado rotativo de los asientos de cojinete de cigüeñales, por ejemplo, en el documento DE 212950 y el AT 286067. En este caso se pasa por delante de la pieza en rotación respectivamente una fresa de punta, que se rota alrededor de eje dispuesto perpendicularmente al eje del asiento de cojinete a mecanizar, con avance tangencial. En tiempo anterior tales activaciones se han retomado de nuevo, en particular para evitar los barros de rectificado que se producen durante el rectificado.

Así el documento WO 97/32680 A1 (a continuación este documento se designa de forma abreviada como D1) propone un procedimiento que se produce sin rectificación en húmedo para el mecanizado de los asientos de cojinete de cigüeñales, en el que el cigüeñal se rota mediante un dispositivo de recepción, en el que está sujeto y está alojada accionable de forma rotativa alrededor de su eje longitudinal, que coincide con el eje C de la máquina, con aproximadamente 20 a 100 rotaciones por minuto y se mecaniza con una herramienta de fresado que pueda rotar en un husillo de la herramienta alrededor de su eje A - paralelo al eje X de la máquina -, puede aproximarse a lo largo de su eje X hacia la herramienta y puede desplazarse perpendicularmente a su eje X (en la dirección Y de la máquina; tangencialmente a la herramienta). El mecanizado correspondiente se realiza en este caso en dos etapas.

Según las explicaciones debe poderse controlar la velocidad de avance tangencial, para considerar las diferentes sollicitaciones de la herramienta de corte y las calidades a obtener del proceso de mecanizado, de forma que durante la fase de preparación (desbaste) los filos de corte periféricos de la herramienta de fresado tengan condiciones de corte óptimas y durante el mecanizado de acabado (afinado) del asiento de cojinete los filos de corte frontales puedan comprender todo el asiento de cojinete (compárese D1, página 11, líneas 11 a 25). Mediante velocidades de giro correspondientemente elevadas de la herramienta de fresado rotativo pueden alcanzarse las elevadas velocidades de corte necesarias en el Corte a Alta Velocidad (*High-Speed-Cutting*) y el cigüeñal puede rotarse aun así con la velocidad de giro de hasta aproximadamente 100 min^{-1} , que también se utilizan durante el rectificado para la obtención de calidades elevadas de la pieza. Debido a las elevadas velocidades de corte, la sollicitación de la herramienta es pequeña y pueden conseguirse unas geometrías espaciales muy buenas. En la herramienta adaptada al contorno del asiento de cojinete, el avance tangencial de la herramienta de fresado rotativo permite el mecanizado de toda la anchura del asiento de cojinete en un ciclo de trabajo. Los pasos convencionales del desbaste y mecanizado por rectificado de los asientos de cojinete podrían englobarse - en una máquina y con una sujeción del cigüeñal - en un paso de trabajo y por consiguiente podría conseguirse una racionalización considerable. En la herramienta de fresado está previstos tres placas de corte, hechas de tipos de materiales de corte corrientes y que presentan respectivamente un filo de corte en el lado frontal y uno en el lado periférico. La geometría de las placas de corte está adaptada a la geometría del asiento de cojinete a mecanizar respecto al radio de transición, hombro plano, etc. (compárese D1 página 6, línea 33 hasta página 7, línea 5).

Frente a la altura de elevación del cigüeñal, la herramienta conocida de fresado rotativo debe ser muy estirada (longitud saliente) para poder realizar el mecanizado del asiento de cojinete (compárese D1 página 8, líneas 18 a 20).

ES 2 360 343 T3

En resumen en D1 se propone un procedimiento y un dispositivo que mediante el uso del fresado rotativo con velocidad elevada debe hacer alcanzables unos tiempos de ciclo cortos y una calidad muy buena en el mecanizado de los asientos de cojinete de los cigüeñales, de forma que pueda prescindirse completamente del paso de mecanizado del rectificado (compárese D1 página 15, líneas 22 a 27). Se diferencia sólo entre cigüeñales de automóviles, que pueden ser por forja o fundición, y cigüeñales grandes y pesados, por ejemplo, para motores de barcos (compárese D1 página 1, párrafos 1 y 2, página 2, párrafo 2 y página 3, párrafo 1). Permanece abierto si están endurecidos los cigüeñales así designados o han experimentado algún otro tipo de compactación de la superficie de los asientos de cojinete. Pero el especialista sabe que entre el mecanizado de los cigüeñales de automóviles y cigüeñales para motores de barcos existen grandes diferencias tecnológicas. Por consiguiente debe dudarse de si la enseñanza de D1 puede transmitirse de forma ilimitada a todos los tipos de cigüeñales, sin que el especialista deba entrar en acción aquí de forma inventiva.

Estimado a ojo en la cantidad de producción de cigüeñales de automóviles aproximadamente un 25% no están endurecidos. En aproximadamente el 50% de todos los cigüeñales de automóviles producidos se endurecen los asientos de cojinete. Casi el 25% de los cigüeñales de automóviles producidos tienen también transiciones endurecidas entre asiento de cojinete y gualdera del cigüeñal o escotaduras endurecidas.

Por el documento EP 1 030 755 B1 (a continuación este documento se denomina de forma abreviada como D2) se conoce el mecanizado de cigüeñales por la serie de pasos de mecanizado - arranque de viruta - endurecimiento - arranque de viruta - acabado. Para ello se explica que ante todo en el caso de cigüeñales de acero se endurecen las superficies de los asientos de cojinete en sus zonas próximas a la superficie. Esto sirve para una resistencia a la abrasión aumentada de los asientos de cojinete, una prevención de deterioros de estos asientos de cojinete en la manipulación durante todo el proceso de fabricación, así como para la influencia de las propiedades de resistencia del cigüeñal (compárese D2 columna 1, líneas 23 a 30). El punto de partida técnico de las reflexiones de D2 es el mecanizado convencional de cigüeñales en cuatro pasos: el primer paso es el mecanizado con arranque de viruta con un filo de corte definido; en este contexto se menciona también el fresado rotativo, en particular el fresado rotativo de velocidad elevada. En el segundo paso de mecanizado subsiguiente se endurecen los asientos de cojinete del cigüeñal. El tercer paso se refiere al rectificado mediante una herramienta de rectificado maciza y dura, por ejemplo, una muela de rectificado. En el cuarto paso finalmente se realiza el acabado mediante una banda abrasiva o piedra amoladora en general paradas, que se presionan en el perímetro exterior de los asientos de cojinete rotativos del cigüeñal. El material sobrante removido se mueve en el acabado en el rango de 1 a 10 μm (compárese D2 columna 2, línea 32 a columna 3, línea 15).

Para bajar los costes en el mecanizado de cigüeñales, según D2 se pretende reducir el mecanizado de los asientos de cojinete de cuatro a tres pasos de mecanizado diferentes (compárese D2 columna 3, líneas 21 a 24). Mediante la supresión del mecanizado de rectificado se reduce la serie de mecanizado de cuatro a sólo tres procedimientos de mecanizado principalmente diferentes. Por consiguiente no solo deben omitirse problemas en la eliminación de desechos en la retirada del barro de rectificado, sino también costes de inversión para máquinas de rectificado, los costes por el consumo de herramienta y no en último lugar la existencia aumentada por el rectificado de piezas debido a alargadas duraciones del ciclo de las piezas. Por el contrario no es problemática la eliminación de desechos de las virutas del mecanizado con arranque de viruta, ya que se corta en seco (fresado con velocidad elevada) o la separación de viruta - aceite es posible completamente debido a la superficie específica mucho más pequeña de la viruta respecto al polvo del rectificado (compárese D2 columna 4, líneas 21 a 33).

Además, debe tenerse en cuenta que en el rectificado actual de los asientos de cojinete, las desviaciones de la redondez que resultan del desbaste con arranque de viruta se reducirán mediante el rectificado en general solo en su valor absoluto, no obstante, no en su característica. Así a partir de desviaciones de la redondez de ondas largas no se originarían desviaciones de la redondez de onda corta mediante el rectificado, sino que se conservaría o reduciría el número de valles de la onda, con la consecuencia de que la mejora ulterior de las desviaciones de la redondez por el acabado, considerado en mejora del resultado por unidad de tiempo, se dificultaría más bien en el acabado (compárese D2 columna 7, línea 49 a columna 8, columna 3). Después del endurecimiento según D2 se realiza otra vez una reducción del material por mecanizado con arranque de viruta, en particular el segundo paso de mecanizado con arranque de viruta (arranque de viruta de acabado) de un mecanizado con arranque de viruta de dos pasos (compárese D2 columna 9, líneas 20 a 24).

En las declaraciones en D1 y D2 es común evitar el mecanizado por fresado rotativo en varias etapas de los asientos de cojinete mediante rectificado en húmedo. Por consiguiente puede aumentarse la calidad del acabado, según se ha expuesto, también en el caso de asientos de cojinete endurecidos (compárese D2) y pueden reducirse los costes que se producen por retirada del barro de rectificado. La concepción conocida unánime pasa debido a ello por integrar el mecanizado por fresado rotativo en varias etapas en el desbaste. Frente a esta concepción tampoco habla que se menciona como combinación posible de series de mecanizado hasta el estado apto para el uso de un cigüeñal: arranque de viruta - endurecimiento - arranque de viruta - acabado (compárese D2 columna 4, líneas 50 a 54).

También el documento de patente alemana 4446475 (a continuación este documento se designa de forma abreviada como D9) se refiere a un procedimiento para el mecanizado de asientos de cojinete de cojinetes principales y de cojinetes de elevación de cigüeñales, en el que, sin que esto se explique expresamente en la exposición, puede partirse de que al mecanizado de los asientos de cojinete correspondientes le precede una conformación del cigüeñal por forja o fundición. Este documento enseña un mecanizado por fresado rotativo de los cojinetes de elevación; el mecanizado de los cojinetes principales del cigüeñal no debe realizarse por el contrario expresamente por fresado rotativo, sino

ES 2 360 343 T3

mejor dicho por vaciado rotativo. A un mecanizado por fresado rotativo sólo deben someterse según el documento D9 expresamente las “superficies de herramientas excéntricas”, es decir, los cojinetes de elevación.

La presente invención aplica el conocimiento de que partiendo de la complejidad estructural de los cigüeñales y otros árboles con asientos de cojinete, en particular con asientos de cojinete excéntricos, sólo con las medidas conocidas no puede conseguirse una optimización de los costes de fabricación y resultado del trabajo. Se ha planteado el objetivo de proporcionar un procedimiento y una máquina herramienta para el mecanizado de los asientos de cojinete de cojinetes principales y cojinetes de elevación de cigüeñales, que pueda contribuir a una fabricación de cigüeñales de gran valor con costes comparablemente bajos.

Este objetivo se resuelve según la invención por un procedimiento para el mecanizado de los asientos de cojinete de los cojinetes principales y cojinetes de elevación de cigüeñales, en el que los asientos de cojinete se someten a las siguientes operaciones de mecanizado después de la de la conformación original del cigüeñal por forja o fundición:

- conformación por mecanizado con arranque de viruta con filo de corte definido,
- laminado fijo de todos las gargantas huecas o escotaduras de los asientos de cojinete,
- enderezamiento del cigüeñal,
- mecanizado de precisión con arranque de viruta con una fresa de punta respectivamente por
- fresado rotativo con precorte a velocidad elevada y
- fresado rotativo con corte de acabado a velocidad elevada, y
- laminado de acabado de los asientos de cojinete del cigüeñal después del fresado rotativo con corte de acabado.

una máquina herramienta montada correspondientemente corresponde a la realización del procedimiento, realizándose el fresado rotativo con precorte y el fresado rotativo con corte de acabado durante respectivamente esencialmente una rotación completa del cigüeñal sin avance longitudinal y sin avance tangencial de la fresa de punta.

Si el cigüeñal también se endurece entre la conformación con filo de corte con arranque de viruta y el laminado fijo de las gargantas huecas o escotaduras, así se realiza también después del endurecimiento de los asientos de cojinete un proceso multietapa del mecanizado con arranque de viruta con un filo de corte definido mediante fresado rotativo con un precorte y un corte de acabado, en el que cada vez durante la revolución en cuestión del cigüeñal, es decir, entre el corte inicial y la salida de la fresa de punta, no cambia la posición de la fresa de punta respecto al eje del cojinete a mecanizar. Debido a la densidad o dureza del material a remover y la multiplicidad de etapas del mecanizado por fresado rotativo se producen sólo virutas relativamente pequeñas, recocidas que pueden retirarse en seco y sin problemas. Mientras que el cigüeñal sólo se rota respectivamente aproximadamente una rotación completa durante el fresado rotativo con precorte, como también durante el fresado rotativo con corte de acabado debido al tamaño, lo que encierra, según se explica más en detalle abajo, un giro del cigüeñal de aproximadamente una rotación y media completa, puede realizarse el mecanizado por fresado rotativo en un tiempo mínimo.

La tecnología del laminado de acabado es un mecanizado superficial de precisión sin viruta para todos los materiales metálicos deformables plásticamente. El mecanizado se realiza mediante rodillos de trabajo endurecidos, pulidos al brillo bajo presión relativamente baja en un asiento de cojinete del cigüeñal que rota. Durante el proceso de laminado de acabado tiene lugar una deformación plástica en la capa marginal del material, fluyendo hacia abajo las elevaciones del perfil y aplanándose las puntas hasta que ha tenido lugar un aplanamiento total o parcial. La microestructura antes y después del laminado de acabado muestra claramente que no tiene lugar una superposición.

Las ventajas de la tecnología del laminado de acabado en comparación a todas las demás tecnologías para la mejora de la calidad superficial en piezas con elevadas sollicitaciones son:

- mecanizado superficial uniforme,
- porcentaje del área de contacto elevado,
- costes de herramienta bajos,
- duración elevada de la herramienta,
- aumento de la dureza en la capa marginal,
- aumento de la resistencia a torsión y
- aumento de la vida útil.

ES 2 360 343 T3

La tecnología del laminado fijo es similar a la tecnología del laminado de acabado, no obstante, tiene otro objetivo diferente. Los rodillos de trabajo presionados bajo la fuerza del laminado fijo siguen el contorno de la pieza. Al aplicar el procedimiento en la escotadura, la fuerza del laminado fijo de los rodillos puede regularse automáticamente en todo el perímetro del diámetro a mecanizar en función del ángulo entre presiones mínimas y máximas preseleccionables, y dentro de cada rotación del cigüeñal. Puede preseleccionarse el número de pliegues.

El aumento conseguido de la resistencia a la fatiga está en función del material, tamaño del radio, fuerza de laminado y número de pliegues de la escotadura.

10 Las ventajas del laminado fijo consisten en el

- aumento de la dureza de la capa marginal,
- introducción de tensiones de compresión,
- 15 - forma de la geometría con laminado fijo conforme a la especificación nominal.

Hay diferentes procedimientos de laminado fijo como aquí son el

- 20 - procedimiento de avance y el
- procedimiento de punzado.

En el fresado rotativo según la presente invención, el eje de la fresa de punta está desplazado respecto al eje del asiento de cojinete a mecanizar con una excentricidad que se conserva durante el paso de mecanizado correspondiente, inclusive las fases de la inmersión y la salida de la herramienta, es decir, es constante. Durante el fresado rotativo no se realiza un movimiento de avance de la fresa de punta transversalmente a un eje longitudinal, es decir, en la dirección Y o tangencialmente a la pieza. La velocidad de mecanizado (avance relativo) se ajusta sólo según la velocidad de rotación del cigüeñal y el radio del asiento de cojinete a mecanizar. En este caso se alcanzan, por ejemplo, las siguientes velocidades de mecanizado: avance relativo entre 200 mm/min y 9000 mm/min, preferiblemente entre 600 mm/min y 1500 mm/min; velocidad de corte entre 60 m/min y 600 m/min, preferiblemente entre aproximadamente 80 m/min y 180 m/min. El desalineamiento del eje de la fresa de punta respecto al eje del asiento de cojinete a mecanizar depende de la geometría del cojinete y se corresponde de 0,1 a 0,25 veces el valor, preferiblemente aproximadamente de 0,15 a 0,2 veces el valor del diámetro de la fresa de punta. Los filos de corte frontales pueden recubrir el asiento de cojinete completo debido a la excentricidad de la fresa de punta. La excentricidad puede optimizarse para la reducción de la dinámica del proceso de fresado (relación de oscilación). El mecanizado por fresado del asiento de cojinete puede realizarse en contra del avance o a favor del avance en la entrada del filo de corte.

Según un aspecto especial de la presente invención, la pieza se mide después del fresado rotativo con precorte en el primer paso del mecanizado y la aproximación de la fresa para el fresado rotativo con corte de acabado en el segundo paso del mecanizado se determina en función del resultado de esta medición. Es importante que para el mecanizado intermedio de cada asiento de cojinete esté previsto un control numérico apropiado. Un control semejante requiere la presencia de medidores y programas de medición, con los que se registra directamente el resultado del mecanizado y se utiliza en el programa de control numérico de la máquina para el mecanizado de los asientos de cojinete. Preferentemente se mide el diámetro después del precorte de un mecanizado intermedio y a continuación se realiza la aproximación exacta para la dimensión final como corte de acabado. En este caso se determina la geometría de la superficie, como por ejemplo, el diámetro, la redondez, la rugosidad y la rectitud y se utiliza para la aproximación en conexión con una estrategia de compensación. La medición se realiza preferentemente con un dispositivo medidor sin contacto. Después de un primer corte se utilizan uno o varios dispositivos medidores para la medición de los cojinetes principales o cojinetes de elevación a través de un eje de control numérico programable. La medición de los asientos de cojinete después del fresado rotativo con precorte se realiza en este caso en el cigüeñal sujeto, de forma que se realiza el fresado rotativo con precorte, medición y fresado rotativo con corte de acabado en sucesión directa. Según la situación individual, en los pasos individuales del mecanizado por fresado rotativo de los asientos de cojinete puede removerse respectivamente un material sobrante igual o diferente de la superficie del asiento de cojinete. Es especialmente favorable en este caso el caso mencionado en segundo lugar, de forma que para un material sobrante existente después del endurecimiento del 60 al 80%, preferiblemente de aproximadamente del 65 al 75%, se remueve durante el fresado rotativo de precorte y el resto durante el fresado rotativo con corte de acabado. La subdivisión del material sobrante entre el primer y el segundo paso de mecanizado se ajusta según el resultado del trabajo del primer paso de mecanizado. En el fresado rotativo debe respetarse dado el caso un espesor de viruta mínimo (por ejemplo, 0,1 mm). Para la determinación de la subdivisión óptima del material sobrante a remover en conjunto a través del mecanizado por fresado rotativo en los dos pasos del mecanizado por fresado rotativo es ventajoso medir los asientos de cojinete del cigüeñal de la manera explicada anteriormente ya antes del fresado rotativo con precorte de velocidad elevada.

65 Según los requerimientos en la calidad superficial, así como otras condiciones de borde, el laminado de acabado de los asientos de cojinete va a continuación regularmente del fresado rotativo. Desde puntos de vista de costes debe preferirse especialmente además un guiado del procedimiento sin acabado. Esto puede realizarse también básicamente; ya que los desniveles superficiales existentes todavía después del fresado rotativo con corte de acabado no discurren

ES 2 360 343 T3

en paralelo condicionados por el procedimiento, sino más bien transversalmente a la dirección de movimiento en el asiento de cojinete. Con ello se igualan más rápido durante el funcionamiento, y el peligro de que se rompa en ellos la película lubricante es más pequeño que en el caso de estrías que discurren radialmente en el asiento de cojinete.

5 Según otra ampliación preferida de la invención, la aproximación de la fresa de punta durante la inmersión al inicio del fresado rotativo con precorte y al inicio del fresado rotativo con corte de acabado referido al eje de la fresa de punta presenta respectivamente sólo una componente axial. La fresa de punta se hace avanzar, con otras palabras, respectivamente a lo largo de su eje longitudinal y se coloca radialmente sobre la pieza, mientras que el cigüeñal se rota con un valor definido (s.u.). Esto es ventajoso para impedir que durante la inmersión de la fresa de punta en el material a remover se origine una "huella". Mientras que de esta manera se evita una formación de huella, puede resultar respectivamente pequeño el material sobrante existente antes del fresado rotativo (por ejemplo sólo 0,5 mm, es decir, $r = 0,25$ mm hasta $r = 0.15$ mm), lo que repercute favorablemente en la rentabilidad del fresado rotativo fino de varias etapas. Se ha demostrado como especialmente favorable si la inmersión de la fresa de punta en el material a remover se extiende en su punto decisivo para el fresado rotativo con precorte sobre un ángulo de rotación del cigüeñal de aproximadamente 3° a 5° , preferentemente aproximadamente 5° . Lo correspondiente es válido para la inmersión de la fresa de punta en el fresado rotativo con corte de acabado.

Para obtener la redondez óptima en la combinación de ataque y salida de la fresa de punta, se compensan las oscilaciones de la fuerza pasiva a través del husillo de la herramienta con la ayuda de la técnica detectora y actuadora. En este caso se corrige el desplazamiento del husillo de la herramienta en el rango X_m de aproximadamente 10 a $20 \mu\text{m}$ con elementos piezoeléctricos. Una corrección automática de la aproximación mediante la medición de las fuerzas y regulación de la posición del eje X para la mejora de la redondez de los asientos de cojinete con fresado rotativo fino parte de los fundamentos de producir el equilibrio de las fuerzas pasivas herramienta/pieza durante el mecanizado por fresado rotativo fino. Esto se realiza por medición de fuerzas en el husillo de la herramienta (axial respecto a la herramienta) para la determinación de la fuerza pasiva. Es necesario un ratio de exploración (frecuencia de muestreo) > 1 kHz y valoración por cálculo de dos puntos de medición subsiguientes para la determinación del aumento positivo/negativo de la fuerza (inclusive señal de tiempo Δt). Es necesario un accionamiento rápido del eje X que puede generar 10 a $20 \mu\text{m}$ (en distancia conocida con diferencia de tiempo: tiempo N_{less} /tiempo de cálculo/tiempo de desplazamiento) igualmente > 1 kHz por ejemplo por elementos piezoeléctricos.

Detrás se encuentra el pensamiento base de que, si la fuerza pasiva se cambia debido a oscilaciones duras o por cambio de la sección transversal de corte (orificio de paso de aceite), debe corregirse correspondientemente la aproximación de la herramienta en la dirección X. En el caso de resolución y rapidez suficientemente elevadas del accionamiento del eje X dentro de 10 a $20 \mu\text{m}$ (desplazamiento - ventana) puede reducirse considerablemente incluso la influencia de la vibración por entrada y salida del filo de corte (principio de contraoscilación/borrado de las crestas de onda y de los valles de onda).

Además, debe atenderse en este caso a que el sistema para la sobreoscilación se inclina por cambios de fuerzas pasivas que pueden originarse por el movimiento de avance corregido. Si, por ejemplo, baja la dureza, baja también por consiguiente la fuerza pasiva, siempre y cuando se "corrija" en este caso el recorrido +X de la pieza, la fuerza pasiva baja aun más y el sistema "se oscila".

Una solución posible consiste en realizar la valoración de la señal de fuerza durante intervalos de tiempo más largos o por cálculo integral del valor medio deslizante y corrección retardada con pausas entre las correcciones. Aun así deben reducirse las oscilaciones de alta frecuencia.

Otra ampliación preferida de la invención se destaca porque el diámetro del filo de corte de la fresa de punta utilizada en el fresado rotativo es mayor que la anchura del asiento de cojinete a mecanizar. El diámetro de la fresa de punta utilizada para el fresado rotativo es preferiblemente aproximadamente 1,15 a 1,35 veces la anchura del asiento de cojinete a mecanizar. En este caso durante la preformación se coloca convenientemente a ambos lados del asiento de cojinete a generar cada vez una garganta de salida, en la que la fresa puede terminar gradualmente la marcha en el mecanizado por fresado rotativo. Al tener en cuenta estos parámetros se produce un desarrollo favorable para el mantenimiento de una película lubricante del perfil superficial que queda en la superficie del asiento de cojinete después del mecanizado por fresado rotativo.

En el mecanizado de los asientos de cojinete de un cigüeñal es ventajoso si el cigüeñal se sujeta para el mecanizado por fresado rotativo en varias etapas en el lado de su brida en un primer mandril de sujeción rotativo y en el lado de su pivote en un segundo mandril de sujeción rotativo. En este caso los dos mandriles de sujeción pueden accionarse preferiblemente de forma síncrona y se giran con la velocidad de rotación entre 1 y 100 min^{-1} .

Los asientos de cojinete de los cojinetes principales individuales de un cigüeñal se mecanizan convenientemente uno tras otro con una única herramienta de fresado rotativo, mientras que el cigüeñal se apoya preferiblemente al mismo tiempo en al menos un cojinete principal adyacente en dirección radial mediante una o mediante dos lunetas. De manera correspondiente se mecanizan los asientos de cojinete de los cojinetes de elevación individuales convenientemente uno tras otro con una herramienta individual de fresado rotativo, mientras que el cigüeñal se apoya al mismo tiempo en al menos un cojinete principal adyacente al cojinete de elevación en dirección radial mediante una luneta.

ES 2 360 343 T3

Mediante el apoyo de lunetas se evita que el cigüeñal se tuerza bajo fuerzas de mecanizado y se empeore con ello el resultado del mecanizado.

5 Alternativamente pueden mecanizarse al mismo tiempo respectivamente varios cojinetes principales o cojinetes de elevación con varias herramientas de fresado rotativo. En este caso está prevista una multiplicidad correspondiente de herramientas de fresado rotativo.

10 Es especialmente ventajoso si para el mecanizado por fresado rotativo en varias etapas de cada asiento de cojinete se desarrolla un programa de control numérico individual propio. Un control individual semejante requiere la presencia de medidores y programas de medición, con los que se detecte directamente el resultado individual del mecanizado del mecanizado por fresado rotativo con precorte y se utilice en el programa de control numérico de la máquina para el mecanizado del asiento de cojinete en cuestión durante el mecanizado por fresado rotativo con corte de acabado. Preferentemente se mide, según se ha expuesto, después del precorte del mecanizado por fresado rotativo en varias etapas y a continuación se realiza la aproximación para el corte de acabado. Gracias a nuevos desarrollos hoy en día es posible sin más un control numérico complejo de la máquina de mecanizado.

20 Junto al mecanizado descriptivo introductorio de cigüeñales para motores de automóviles pueden mecanizarse de manera análoga también cigüeñales para motores mayores, por ejemplo, motores para barcos pequeños, tanques o locomotoras. Igualmente es posible el mecanizado de árboles de levas o de mando.

La invención se refiere también a una máquina herramienta para la realización del procedimiento. La máquina herramienta posee:

- 25 - un husillo principal con un eje de rotación (eje C) alrededor del eje Z, conforme al eje de rotación principal de un cigüeñal a mecanizar,
- un mandril de sujeción accionable en rotación en el eje C,
- 30 - al menos un husillo de la herramienta que rota alrededor del eje X, que puede desplazarse en la dirección Y y en la dirección Z y puede avanzar en la dirección X,
- al menos una luneta desplazable a lo largo de la dirección Z con al menos un apoyo para el cigüeñal en un asiento de cojinete de sus cojinetes principales
- 35 - un contracabezal con una punta de punzón o un segundo mandril de sujeción,
- un dispositivo para laminado fijo de las gargantas huecas o escotaduras y para el enderezamiento del cigüeñal con la ayuda de herramientas de laminado fijo y
- 40 - un dispositivo para el laminado de acabado de los asientos de cojinete de los cojinetes principales (HL) y cojinetes de elevación (PL).

45 Junto a una máquina semejante para el mecanizado con arranque de viruta de cigüeñales están previstas máquinas o dispositivos especiales para el laminado fijo de las gargantas huecas o escotaduras o para el laminado de acabado de los asientos de cojinete en los cojinetes principales o cojinetes de elevación de cigüeñales. Siempre y cuando los dispositivos semejantes no estén presentes ya en la máquina herramienta para el mecanizado con arranque de viruta o puedan montarse en ella, está previsto realizar las operaciones del laminado fijo y del laminado de acabado en máquinas autónomas especializadas dentro de la cadena de las operaciones de fabricación.

50 En el mecanizado de los asientos de cojinete de un cigüeñal en una máquina con dos mandriles de sujeción accionables en rotación, el primer mandril de sujeción aloja el cigüeñal en su brida y el segundo mandril de sujeción el cigüeñal en su pivote. Como mandril de sujeción se utilizan preferentemente mandriles de compensación con alojamiento de punta.

55 El eje de rotación (eje A) del husillo de la herramienta con la herramienta de fresado rotativo rota alrededor del eje X ortogonalmente al plano de trabajo de la máquina. El husillo de la herramienta para la herramienta de fresado rotativo presenta también un dispositivo para poder ajustar el husillo de la herramienta para el ajuste de una excentricidad (del desalineamiento) entre el eje del asiento de cojinete a mecanizar y el eje de la herramienta en la dirección Y. Finalmente el husillo de la herramienta puede desplazarse y fijarse también en la dirección Z de la máquina herramienta para poder mecanizar uno tras otro los asientos de cojinete individuales.

65 Para el mecanizado de las superficies de los asientos de cojinete de cojinetes de elevación, el husillo de la herramienta presenta un dispositivo con cuya ayuda puede oscilar de forma coordinada en dirección del eje X, de forma que puede seguir los movimientos circulares del cojinete de elevación durante el giro del cigüeñal alrededor del eje principal. Un segundo eje X "superpuesto" está previsto para las aproximaciones hasta por ejemplo de 10 μm mediante elementos piezoeléctricos. Por ello es posible también una reducción de la dinámica del proceso.

ES 2 360 343 T3

El husillo de la herramienta está previsto preferiblemente para el alojamiento de una fresa de punta, cuyo mango tiene una longitud en relación a su diámetro que se sitúa entre 10:1,5 a 10:3. Esta esbeltez de la fresa de punta es la condición para que todas las superficies de los asientos de cojinete (superficies laterales) puedan mecanizarse en el caso de cigüeñal rotativo con la herramienta. La esbeltez requiere también que el mango de la fresa de punta presente una elevada rigidez a flexión. Es ventajoso si el mango de la fresa de punta está fabricado de metal duro - u otros materiales con resistencia a la torsión. La sujeción de la fresa de punta se realiza preferentemente en un mandril encogible.

Para obtener un corte tranquilo y uniforme en la fresa de punta están previstos preferiblemente al menos tres filos de corte frontales a base de placas de corte CBN (nitruro de boro con estructura cristalina cúbica) soldadas o fijadas de forma apropiada o placas de corte de otro material de corte apropiado.

Los filos de corte frontales de la fresa de punta presentan preferiblemente respectivamente un ángulo de ataque muy pequeño entre $0,02^\circ$ y $0,08^\circ$. Mediante un ángulo de ataque semejante se puede conseguir una forma de las superficies de cojinete convexa (de balón) favorable en los cigüeñales. El ángulo de ataque que puede generarse por el afilado inclinado de los filos de corte de la herramienta en el lado frontal puede ascender en particular a aproximadamente $0,04^\circ$. La herramienta puede enfriarse interiormente en caso de necesidad.

Un apoyo a prever preferiblemente de los asientos de cojinete no situados respectivamente en el mecanizado por una luneta (s.o.) se realiza convenientemente en tres puntos de un cojinete principal, de los que uno se sitúa en la dirección X (respecto a la herramienta de fresado rotativo). Para excluir perturbaciones del apoyo debidas a los orificios de paso de aceite necesarios en los cojinetes principales y cojinetes de elevación, las superficies de apoyo de la luneta están configuradas preferiblemente como deslizaderas, que en la zona de los orificios de paso de aceite de los asientos de cojinete principales pueden presentar respectivamente una entalladora en forma de una ranura. Adicionalmente las deslizaderas del contorno de la superficie de la línea generatriz del cojinete pueden estar adaptadas, en particular a través de un rectificado hueco ajustado al diámetro del cojinete. Esto sirve para el apoyo óptimo por maximización del porcentaje del área de contacto.

Las ventajas especiales de la presente invención se muestran, según se ha explicado anteriormente, principalmente en cigüeñales y otros árboles, cuyos asientos de cojinete están endurecidos. Si un endurecimiento de los asientos de cojinete no es necesario con vista a su protección durante la manipulación posterior ni con vista a la resistencia al desgaste pretendida, también entra en consideración utilizar el procedimiento según la invención sin endurecimiento de los asientos de cojinete. En este caso se establecen requerimientos menores en los filos de corte de la herramienta de fresado rotativo. Además, ya que se suprime el retardo que se requiere regularmente en el endurecimiento, el material sobrante para el mecanizado por fresado rotativo podría resultar menor que en asientos de cojinete endurecidos, lo que es favorable desde el punto de vista de la economía de fabricación.

A continuación se describe en detalle la invención en un ejemplo de realización.

Las figuras muestran respectivamente en representación fuertemente simplificada, no a escala y parcial,

Fig. 1 un cigüeñal de cuatro cilindros en vista lateral,

Fig. 2 una fresa de punta que puede utilizarse para el mecanizado de los asientos de cojinete del cigüeñal según la fig. 1 en vista lateral a escala reducida,

Fig. 3 la fresa de punta de la fig. 2 en una vista en planta en la dirección de la flecha A de la fig. 2 a escala aumentada,

Fig. 4 el extremo final de la fresa de punta en la vista lateral a escala aumentada,

Fig. 5 el mecanizado de un cojinete principal del cigüeñal según la fig. 1 en sección,

Fig. 6 en una representación de vectores el avance relativo durante diferentes fases del mecanizado por fresado rotativo,

Fig. 7 el apoyo de otro cojinete principal en sección y

Fig. 8 la vista en planta en una deslizadera de la luneta,

Fig. 9 un cigüeñal en vista lateral con los puntos preferidos para el laminado fijo,

Fig. 10 el ataque de una herramienta para laminado fijo en un pivote del cojinete de elevación,

Fig. 11 un cigüeñal en vista lateral con los puntos preferidos para el laminado de acabado,

Fig. 12 el ataque de una herramienta para laminado de acabado en un pivote del cojinete de elevación.

ES 2 360 343 T3

En el cigüeñal 1 (pre)formado por mecanizado con arranque de viruta con filo de corte definido se endurecen - si está previsto - en primer lugar las superficies de todos los asientos de cojinete y unido con ello también la mayoría de las transiciones - gargantas huecas o escotaduras. Independientemente de ello, como siguiente operación del mecanizado continúa el laminado fijo de todas las gargantas huecas o escotaduras 42 (fig. 9). En este caso se presionan dos rodillos de laminado fijo 43 y 44 en la escotadura 42 bajo una fuerza de laminado fija predeterminada, mientras que el cigüeñal 1 se rota. Los rodillos de laminado fijo 43 y 44 se apoyan durante el laminado fijo por un rodillo de guiado 45 que está alojado de forma giratoria en un cabezal de los rodillos de laminado fijo 46 (fig. 10). Respecto a los rodillos del laminado fijo 43 y 44, el pivote de cojinete PL se apoya por dos rodillos de apoyo 47, que están alojados de forma giratoria en un cabezal de rodillos de apoyo 48. El cabezal de los rodillos del laminado fijo 46 y el cabezal de los rodillos de apoyo 48 son partes de una herramienta de laminado fijo (no mostrada).

Según la invención el cigüeñal se alinea después del endurecimiento y/o laminado fijo de las gargantas huecas o escotaduras 42. El alineamiento se realiza con la misma herramienta de laminado fijo que el laminado fijo, además bajo regulación de la fuerza del laminado fijo según el tamaño y dirección. Con el laminado fijo se puede aumentar la resistencia a la fatiga de los cigüeñales de acero un 200% y de cigüeñales de fundición esferoidal un 300% respecto a la resistencia a la fatiga original. Este cigüeñal 1 preformado con arranque de viruta, no endurecido o endurecido y enderezado está sujeto de forma rotativa (no mostrado) alrededor de su eje de giro principal 2 a una máquina herramienta (no mostrada), en la que los asientos de cojinete de sus cojinetes principales y cojinetes de elevación se mecanizan ahora por fresado rotativo fino. Comenzando en el pivote 3 están designados los cojinetes principales uno tras otro como HL 1 a HL 5. De forma similar está la numeración de los cojinetes de elevación, que en el dibujo comenzando del pivote 3 portan uno tras otro la referencia PL 1 a PL 4. El extremo del cigüeñal 1 opuesto al pivote 3 es la brida 4. En el presente ejemplo el cigüeñal 1 se sujeta en la brida 4 y el pivote 3 cada vez en un mandril de sujeción, del que están representadas respectivamente dos mordazas de sujeción 5. Las fuerzas de sujeción actúan conforme a la dirección de las flechas 6 en la dirección radial en la brida 4.

El eje de rotación 2 del cigüeñal 1 es al mismo tiempo el eje C de la máquina herramienta que discurre en la dirección Z. Comenzando en la brida 4 se mecanizan uno tras otro en primer lugar los cojinetes principales HL 5 a HL 1 del cigüeñal 1 según la flecha 9 mediante fresado rotativo fino con arranque de viruta. Durante el mecanizado en la dirección de la flecha 9, dirección X de la máquina herramienta, el apoyo del cigüeñal 1 se realiza en la dirección de la flecha 10 opuesta a la dirección de mecanizado 9. El apoyo en la dirección de la flecha 10 se realiza por una o dos lunetas (no mostrado) de la máquina herramienta. En este caso se realiza un mecanizado de HL 5 con apoyo en HL 4, un mecanizado de HL 4 con apoyo en HL 3, un mecanizado de HL 3 con apoyo en HL 4 y/o HL 2, un mecanizado de HL 2 con apoyo en HL 3 y un mecanizado de HL 1 con apoyo en HL 2. El apoyo en el mecanizado de los cojinetes de elevación PL 1 a PL 4 está estructurado de forma similar. En un mecanizado de PL 1, por ejemplo, en la dirección de mecanizado 11, se realiza el apoyo en HL 1 y/o HL 2. El mecanizado de PL 2 se realiza de nuevo con apoyo en HL 2 y/o HL 3, el mecanizado de PL 3 con apoyo en HL 3 y/o HL 4 y finalmente el mecanizado de PL 4 con apoyo en HL 4 y/o HL 5. Debido a la sencillez se asume que la dirección de mecanizado 11 se corresponde con la dirección de mecanizado 9 y por consiguiente con la dirección X de la máquina herramienta.

Para el fresado rotativo fino de los asientos de cojinete HL y PL está prevista una fresa de punta 12 (fig. 2). En el presente ejemplo de realización el diámetro 13 de la fresa de punta es de 24 mm, mientras que la anchura de los asientos de cojinetes principales HL y de los asientos de cojinete de elevación PL es de 19 mm. Por consiguiente durante la preformación se ha introducido durante el mecanizado con arranque de viruta del cigüeñal 1 en cada asiento de cojinete a ambos lados una garganta de salida de 2,5 mm, en las que puede terminar gradualmente la marcha la fresa de punta 12. En relación a su diámetro 13 el mango 15 de la fresa de punta 12 tiene una longitud 14. La gran longitud 14 del mango 15 hace posible que, por ejemplo, las superficies de los asientos de cojinete de los cojinetes de elevación PL 1 ó PL 4 también puedan mecanizarse desde las direcciones 9 y 11, si se sitúan - después de aproximadamente una media rotación del cigüeñal 1 - en la posición inferior en la que están representados los dos cojinetes de elevación interiores PL 2 y PL 3 (fig. 1). Con esta finalidad el mango 15 de la fresa de punta 12 posee una elevada resistencia a la flexión. El mango 15 se mete en un alojamiento de herramienta 16 habitual del husillo de la herramienta (no mostrado) de la máquina herramienta. El eje de rotación 17 de la fresa de punta 12 se sitúa al mismo tiempo en paralelo a la dirección X de la máquina herramienta.

Observado desde la dirección de la flecha A, la fresa de punta 12 presenta tres placas de corte 18 que están distribuidas de forma uniforme sobre el perímetro (fig. 3). Las placas de corte 18 están hechas de nitruro de boro con estructura cristalina cúbica, abreviado CBN. Los filos de corte frontales de las placas de corte 18 presentan respectivamente un ángulo de ataque 19 pequeño hacia el eje de rotación 17.

La fig. 5 muestra una sección a través de un cojinete principal HL cualquiera del cigüeñal 1. En la dirección del eje 2 se sitúa el eje C de la máquina herramienta; el eje Z se sitúa así perpendicularmente al plano de representación. Ortogonalmente a ello se extiende el eje X y de nuevo ortogonalmente al eje X y al eje Z el eje Y (fig. 1 a la derecha abajo). Respecto al eje X el eje de rotación 17 de la fresa de punta 12 está desplazado en la dirección Y con la desalineación e, que en el presente ejemplo de realización es de aproximadamente 4 a 5 mm. La dirección de rotación del cigüeñal 1 se indica por la flecha 20 y la dirección de rotación de la fresa de punta 12 por la flecha 21 curvada.

Para el mecanizado por fresado rotativo con arranque de viruta en varias etapas del cojinete principal HL está previsto el material sobrante 22 (por ejemplo 0,25 mm). Durante el fresado rotativo con precorte, en el que el cigüeñal 1 hace una rotación completa en la dirección 20, se remueve una capa exterior 23 con un espesor predeterminado

ES 2 360 343 T3

(material sobrante de desbastado, por ejemplo 0,15 mm) del cojinete principal HL. A continuación, es decir, sin recambio del cigüeñal 1, se realiza después de una medición del cojinete después del fresado rotativo con precorte en el fresado rotativo con corte fino la remoción de la capa interior 24 (material sobrante de acabado, por ejemplo, 0,1 mm), girándose el cigüeñal 1 de nuevo en la dirección de rotación 20 y la fresa de punta 12 en la dirección de rotación 21. Una inversión de la dirección de rotación 20 y 21 para el fresado rotativo con corte fino también es posible. Durante el fresado rotativo con corte fino, el cigüeñal 1 hace algo más de una rotación completa. Junto con la zona del ángulo de rotación para la inmersión de la fresa de punta 12 al inicio del paso de mecanizado por fresado rotativo con corte fino, la fresa de punta 12 está en contacto aquí aproximadamente sobre una zona angular de 420°.

La fig. 6 ilustra a través de una representación de vectores el avance relativo de la fresa de punta 12 en la inmersión (a trazos) en el material, es decir, al iniciar el corte, en la j rotación (de trazo continuo) y al salir (de trazos y puntos). Condicionado por la geometría - sólo el diámetro del asiento de cojinete y la velocidad angular determinan el vector en la rotación - durante la circulación del cigüeñal 1 no existe un avance relativo tangencial puro; mejor dicho la componente 35 tangencial está superpuesta a una componente 36 radial - representada demasiado grande - por lo que durante la rotación del cigüeñal 1 se produce el avance 37 relativo representado como vector. Durante el inicio del corte el movimiento de avance 38 de la fresa de punta 12 se agrega a lo largo de su eje longitudinal 17 (en la dirección X). El avance relativo resultante por superposición con el vector 37 durante el inicio del corte está ilustrado por el vector correspondiente de inicio del corte o inmersión 39. Durante la salida de la fresa de punta 12 después de la rotación completa del cigüeñal 1, al avance 37 relativo se le agrega el movimiento de aproximación 40 - que se realiza en la dirección X - de la fresa de punta 12. El avance relativo resultante por superposición con el vector 37 durante la salida de la fresa de punta 12 está ilustrado por el vector de salida 41 correspondiente. La magnitud correspondiente de los movimientos de aproximación 38 y 40 se determina anteriormente de forma experimental, debiéndose tener en cuenta la dirección de rotación 20 del cigüeñal 1 en o contra la dirección de desalineamiento e del eje de la fresa 17 respecto al eje de rotación 2 del cigüeñal 1. Como punto de parada para la determinación del orden de magnitud de la velocidad de aproximación en función de los parámetros de mecanizado restantes, así como de las relaciones geométricas puede ser válido que el inicio del corte se extienda preferiblemente sobre una zona angular de 30 a 15° de la rotación del cigüeñal 1. Esto es válido igualmente para los cojinetes principales HL y los cojinetes de biela PL.

Según se ha mencionado, el cigüeñal 1 se apoya en el mecanizado por fresado rotativo con arranque de virutas en varias etapas de un cojinete principal HL por una o dos lunetas (no mostrado) de la máquina herramienta. El apoyo se realiza en primer lugar en la dirección X, que está representada en la fig. 7 como dirección vertical. Para el apoyo sirve una deslizadera 25 que puede moverse en las dos direcciones 26 a lo largo del eje X. Junto al apoyo en la dirección X mediante la deslizadera 25 se realiza adicionalmente todavía un apoyo por otras dos deslizaderas 27 y 28, que pueden moverse acercándose y alejándose respectivamente en direcciones radiales 29 sobre el asiento de cojinete principal HL del cigüeñal 1. Un mecanismo (no mostrado) de la luneta coordina los tres movimientos 26 y 29 de manera que las deslizaderas 27 y 28 se mueven acercándose al cojinete principal HL, mientras que la deslizadera 25 se mueve hacia abajo en la dirección de la flecha doble 26. A la inversa las deslizaderas 27 y 28 se mueven alejándose en la dirección de la flecha doble 29 del cojinete principal HL, mientras que la deslizadera 25 se mueve hacia arriba en la dirección de la flecha doble 26. Un mecanismo conocido en sí, que no se debe describirse aquí, se ocupa de la coordinación de los movimientos 26 y 29, por lo que se produce una sujeción central del cigüeñal con diámetros diferentes de los asientos de cojinete.

Pero el asiento de cojinete 30 del cojinete principal HL se interrumpe también por un orificio de paso de aceite 31. Del borde de este orificio de paso de aceite 31 pueden partir perturbaciones que se ajustan durante la rotación del cigüeñal 1, mientras que el cojinete principal HL se apoya por las deslizaderas 25, 27 y 28. Para evitar perturbaciones semejantes, las deslizaderas 25, 27 y 28 están provistas respectivamente de una ranura 32. La ranura 32 actúa de forma que la parte 33 que se apoya en la superficie de apoyo de la deslizadera 25, 27 y 28 es menor que su superficie de corte transversal 34 correspondiente, que está dirigida al cojinete principal HL durante el apoyo. No está representada en el dibujo la adaptación posible de las deslizaderas a la línea generatriz del asiento de cojinete a fabricar mediante un rectificado hueco (s.o.).

A las operaciones de mecanizado precedentes del fresado rotativo con precorte y con corte de acabado les sigue según la invención todavía la operación del laminado de acabado de los asientos de cojinete HL y PL (fig. 11 y fig. 12).

La figura 11 muestra la posición de los asientos de cojinete HL y PL en un cigüeñal 1 con preferentemente laminado de acabado. A las superficies de tope BL del cojinete de ajuste HL 3 de un cigüeñal 1 también se les realiza el laminado de acabado; no obstante, esta operación de mecanizado no se encuentra bajo la presente invención y se menciona aquí sólo por completitud. El laminado de acabado de los asientos de cojinete HL y PL se realiza en lugar del acabado por cinta o piedra.

Se realiza el laminado de acabado con tres rodillos de laminado de acabado cilíndricos que están distribuidos sobre el perímetro del asiento de cojinete PL. En la fig. 12 pueden verse de ellos sólo los dos rodillos de laminado de acabado 49 y 50; el último se habría movido para la mejor compresión en el plano de dibujo. Cada rodillo del laminado de acabado 49 y 50 se apoya lateralmente por dos rodillos de apoyo 51 y 52 que están pivotados aquí igualmente en el plano de dibujo. Los rodillos de apoyo 51 y 52 están alojados de forma rotativa, según puede reconocerse, por un lado en carcasas 53 ó 54. Durante el laminado de acabado se rota el cigüeñal 1 y pone en rotación en este caso los rodillos para el laminado de acabado 49 y 50 y a través de los rodillos para el laminado de acabado 49 y 50 al mismo tiempo

ES 2 360 343 T3

los rodillos de apoyo 51 y 52. Durante el laminado de acabado se presionan los rodillos para el laminado de acabado 49 y 50 bajo una fuerza de laminado predeterminada sobre el asiento de cojinete PL del cigüeñal 1.

5 Mediante el laminado de acabado se obtiene una característica superficial mejorada adecuada al funcionamiento de los asientos de cojinete HL y PL. Se reduce la rugosidad residual que queda después del fresado rotativo fino. Se aumenta el porcentaje del área de contacto del perfil y la dureza de la capa marginal. Se eleva la resistencia a torsión del cigüeñal 1. Finalmente se reducen también eventuales desviaciones de la forma todavía existentes.

10 En cada cigüeñal 1 se realiza el laminado de acabado preferentemente también de las superficies de obturación 55 en el pivote 3 y 56 en la brida 4 fig. 11.

Junto al mecanizado de cigüeñales, el procedimiento descrito anteriormente también es apropiado para mecanizar de la misma manera árboles de levas y árboles de mando de todo tipo.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

ES 2 360 343 T3

REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento para el mecanizado de los asientos de cojinete de los cojinetes principales y cojinetes de elevación de los cigüeñales (1), en el que los asientos de cojinete de los cojinetes principales (HL) y cojinetes de elevación (PL) se someten a las operaciones de mecanizado siguientes después de la formación original del cigüeñal (1) por forja o fundición:

- conformación por mecanizado con arranque de viruta con filo de corte definido,
- 10 - laminado fijo de todos las gargantas huecas o escotaduras (42) de los asientos de cojinete,
- enderezamiento del cigüeñal,
- 15 - mecanizado de precisión con arranque de viruta con una fresa de punta (12) respectivamente por
 - fresado rotativo con precorte a velocidad elevada y
 - 20 - fresado rotativo con corte de acabado a velocidad elevada, durante respectivamente esencialmente una rotación completa del cigüeñal (1) sin avance longitudinal y sin avance tangencial de la fresa de punta (12) y
 - laminado de acabado después del fresado rotativo con corte de acabado.

25 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque después del fresado rotativo con precorte se realiza una medición del diámetro de los asientos de cojinete (HL, PL) y luego la aproximación para el corte de acabado se efectúa a través del control numérico de la máquina de mecanizado en función del resultado de la medición.

30 3. Procedimiento según la reivindicación 1 o reivindicación 2, **caracterizado** porque el endurecimiento al menos de partes del cigüeñal sigue a la conformación por mecanizado con arranque de viruta con un filo de corte definido.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque la aproximación de la fresa de punta (12) se realiza durante la inmersión al inicio del fresado rotativo con precorte y al inicio del fresado rotativo con corte de acabado referido al eje de rotación (17) de la fresa de punta (12) sólo en la dirección del eje de rotación (17).

35 5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado** porque el corte inicial durante la inmersión de la fresa de punta (12) se extiende sobre 3° a 15°, preferiblemente aproximadamente 5o del ángulo de rotación del cigüeñal (1).

40 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque una garganta de salida se introduce durante la formación del cigüeñal a ambos lados del asiento de cojinete a generar respectivamente.

45 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque el fresado rotativo con precorte o con corte de acabado se realiza con una desalineación (e) del eje de rotación (17) de la fresa de punta (12) respecto al eje de rotación (12) del asiento de cojinete de aproximadamente 0,15 a 0,2 veces el valor del diámetro de la fresa de punta (12).

50 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado** porque los asientos de cojinete de los cojinetes principales (HL) se mecanizan, mecanizándose sucesivamente cada asiento de cojinete individual con una sola fresa de punta (12), mientras que el cigüeñal (1) se sostiene al mismo tiempo en un cojinete principal (HL) respectivamente adyacente en la dirección radial por una luneta.

55 9. Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado** porque se mecanizan los asientos de cojinete de los cojinetes de elevación (PL) de un cigüeñal (1), mecanizándose sucesivamente cada asiento de cojinete individual con una sola fresa de punta (12), mientras que el cigüeñal (1) se soporta al mismo tiempo en un cojinete principal (HL) respectivamente adyacente en la dirección radial por una luneta.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado** porque el fresado rotativo con corte de acabado comprende más de 360° del ángulo de rotación del cigüeñal.

60 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado** porque el inicio del mecanizado de precisión con arranque de viruta se realiza durante el fresado rotativo con precorte y/o durante el fresado rotativo con corte de acabado en la zona de un orificio de paso de aceite.

65 12. Máquina herramienta para la realización del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizada** porque la máquina herramienta presenta

- un husillo principal con un eje de rotación (eje C) alrededor del eje Z, conforme al eje de rotación principal (2) de un cigüeñal (1) a mecanizar,

ES 2 360 343 T3

- dos mandriles de sujeción rotativos en el eje C para el cigüeñal (1), de los que al menos uno puede accionarse,
 - al menos un husillo de la herramienta que rota alrededor del eje X, que puede desplazarse en la dirección Y y en la dirección Z y puede aproximarse en la dirección X,
 - al menos una luneta desplazable a lo largo de la dirección Z con al menos un apoyo para el cigüeñal (1) en un asiento de cojinete de sus cojinetes principales (HL) y
 - al menos un dispositivo para laminado fijo de las gargantas huecas o escotaduras (42) y para el enderezamiento del cigüeñal (1) con la ayuda de herramientas de laminado fijo (43 a 48) y
 - al menos un dispositivo para el laminado de acabado de los asientos de cojinete de los cojinetes principales (HL) y cojinetes de elevación (PL).
13. Máquina herramienta según la reivindicación 12, **caracterizada** porque el primer mandril de sujeción aloja un cigüeñal (1) en su brida (4) y el segundo mandril de sujeción aloja el cigüeñal en su pivote (3).
14. Máquina herramienta según la reivindicación 12 o reivindicación 13, **caracterizada** porque el husillo de la herramienta puede desplazarse un valor e en la dirección Y.
15. Máquina herramienta según una de las reivindicaciones 12 a 14, **caracterizada** porque el husillo de la herramienta está previsto para el alojamiento de una fresa de punta (12), cuyo mango (15) tiene una longitud en relación a su diámetro (13) que se sitúa entre 10:1,5 a 10:3.
16. Máquina herramienta según la reivindicación 15, **caracterizada** porque la fresa de punta (12) presenta tres filos de corte a base de placas de corte CBN (18) soldadas.
17. Máquina herramienta según la reivindicación 16, **caracterizada** porque las placas de corte CBN (18) presentan respectivamente un ángulo de ataque (19) que disminuye un valor entre 0,02° y 0,08° del perímetro exterior de la fresa de punta (12) en dirección a su eje longitudinal (17).
18. Máquina herramienta según la reivindicación 17, **caracterizada** porque la fresa de punta tiene un diámetro que corresponde a un valor de 1,15 a 1,35 veces la anchura del asiento de cojinete (HL o PL) a mecanizar.
19. Máquina herramienta según una de las reivindicaciones 12 a 18, **caracterizada** porque la relación entre la velocidad de rotación del o de los mandriles de sujeción respecto a la velocidad de rotación del husillo de la herramienta está entre 1:400 y 1:2000.
20. Máquina herramienta según una de las reivindicaciones 12 a 19, **caracterizada** porque el apoyo de la luneta se realiza en tres puntos de un cojinete principal (HL 1-5) de un cigüeñal (1), de los que uno se sitúa en la dirección X.
21. Máquina herramienta según la reivindicación 20, **caracterizada** porque los apoyos del cigüeñal (1) están configurados por lunetas como bloques deslizantes (25, 27, 28), que en la zona del orificio de paso de aceite (31) del asiento de cojinete (30) de un cojinete principal presentan respectivamente una entalladura (32).
22. Máquina herramienta según la reivindicación 12, **caracterizada** porque presenta un dispositivo para el endurecimiento de gargantas huecas o escotaduras (42) o de los asientos de cojinete de cojinetes principales (HL) y cojinetes de elevación (PL).
23. Máquina herramienta según la reivindicación 12, **caracterizada** porque la máquina herramienta presenta al menos un dispositivo de medición que puede pivotarse y/o posicionarse para la medición de los cojinetes principales (HL) y cojinetes de elevación (PL).
24. Máquina herramienta según la reivindicación 23, **caracterizada** porque los dispositivos de medición sin contacto están previstos para la medición de los cojinetes principales (HL) y cojinetes de elevación (PL).

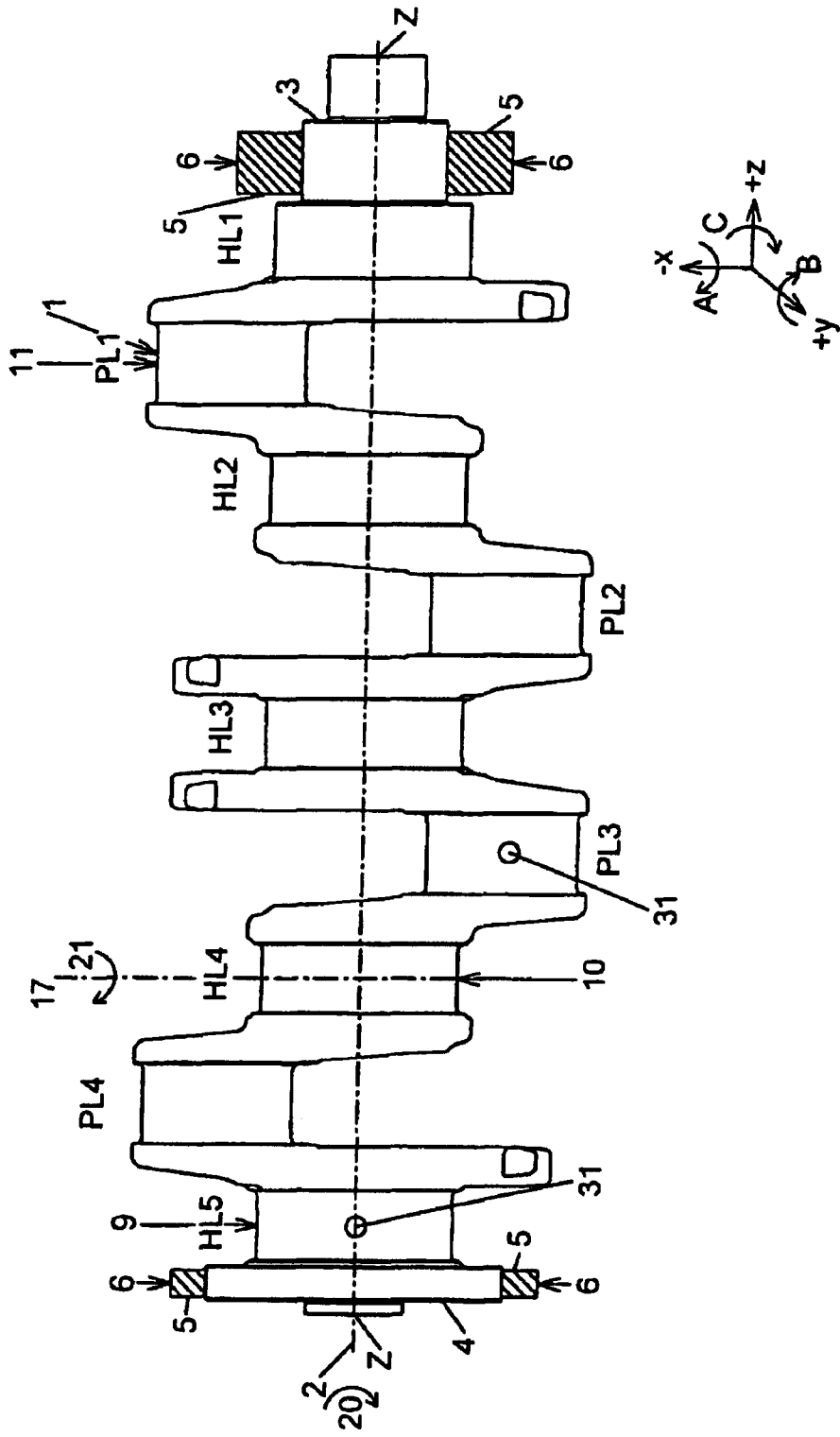
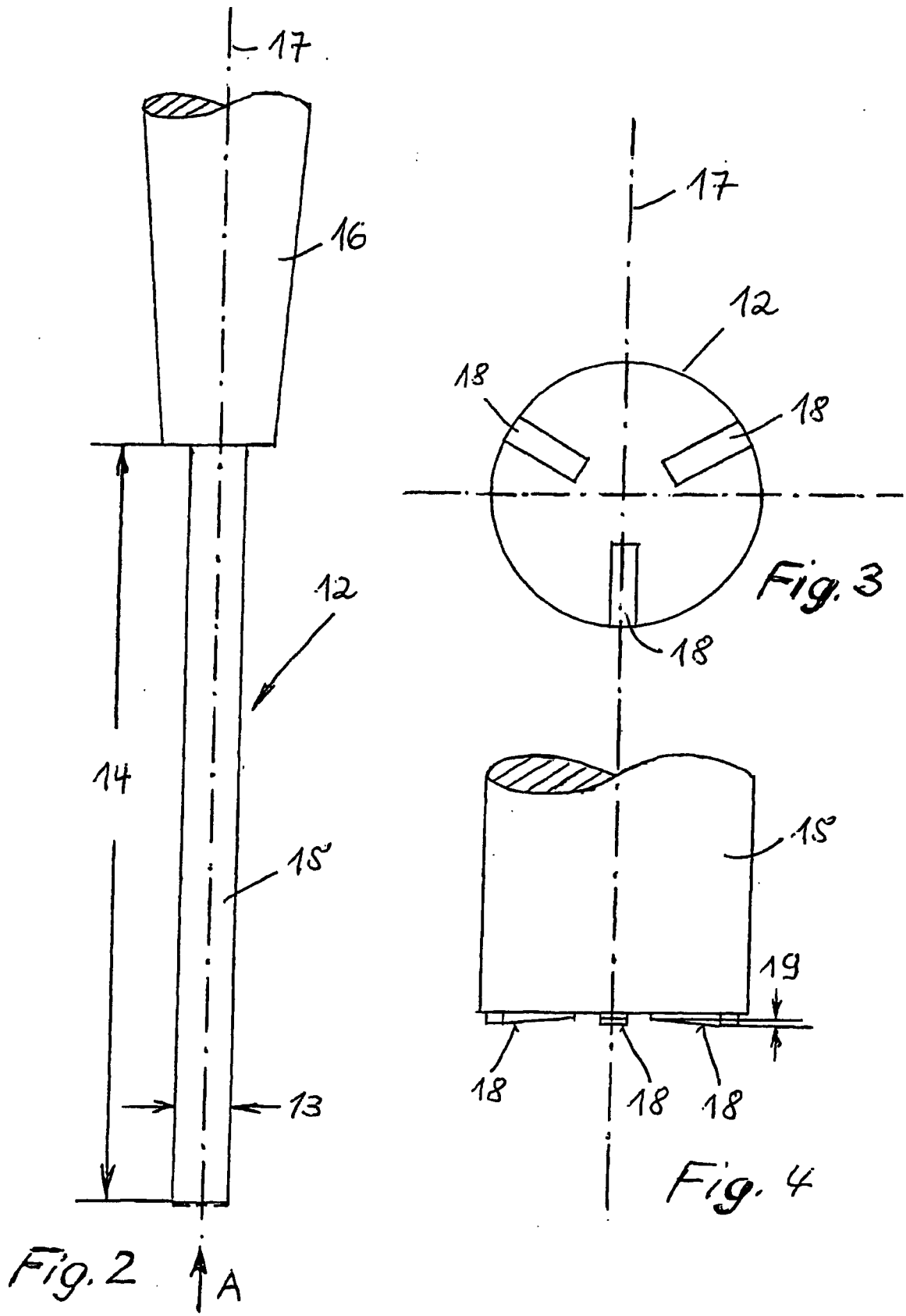


Fig. 1



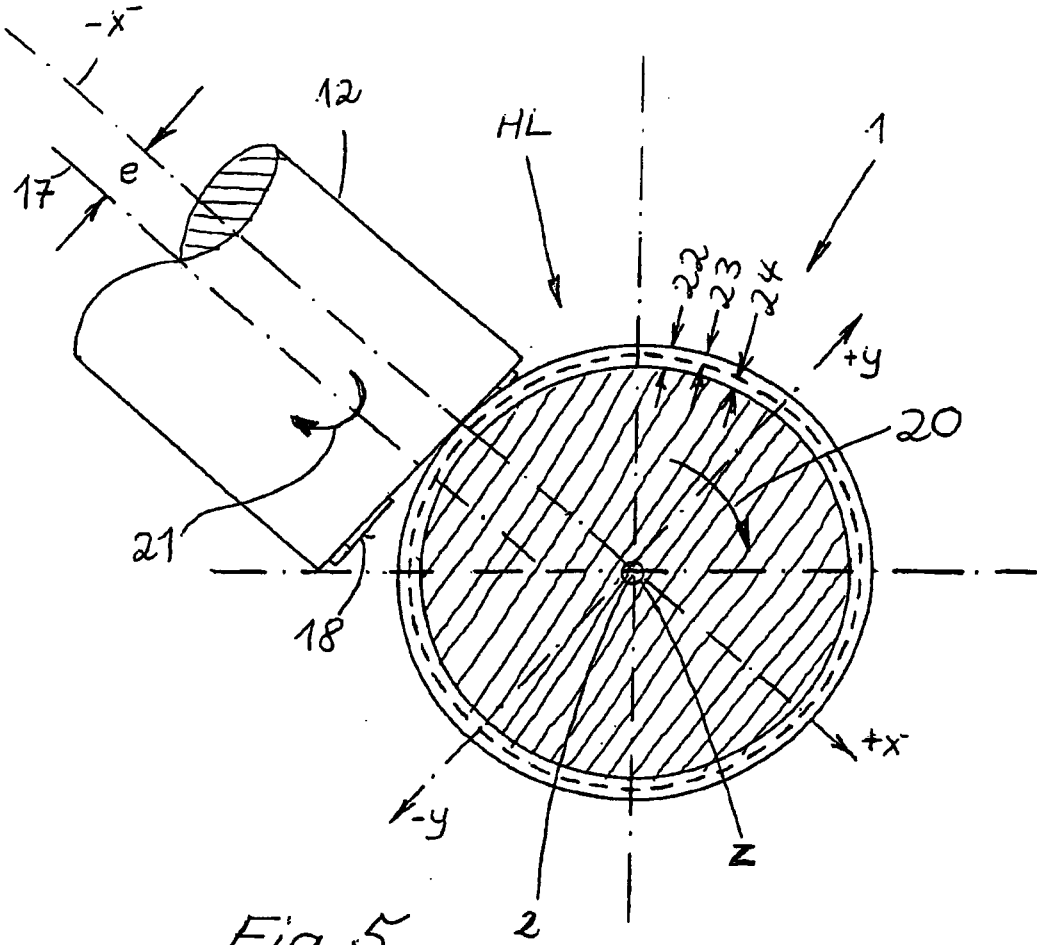


Fig. 5

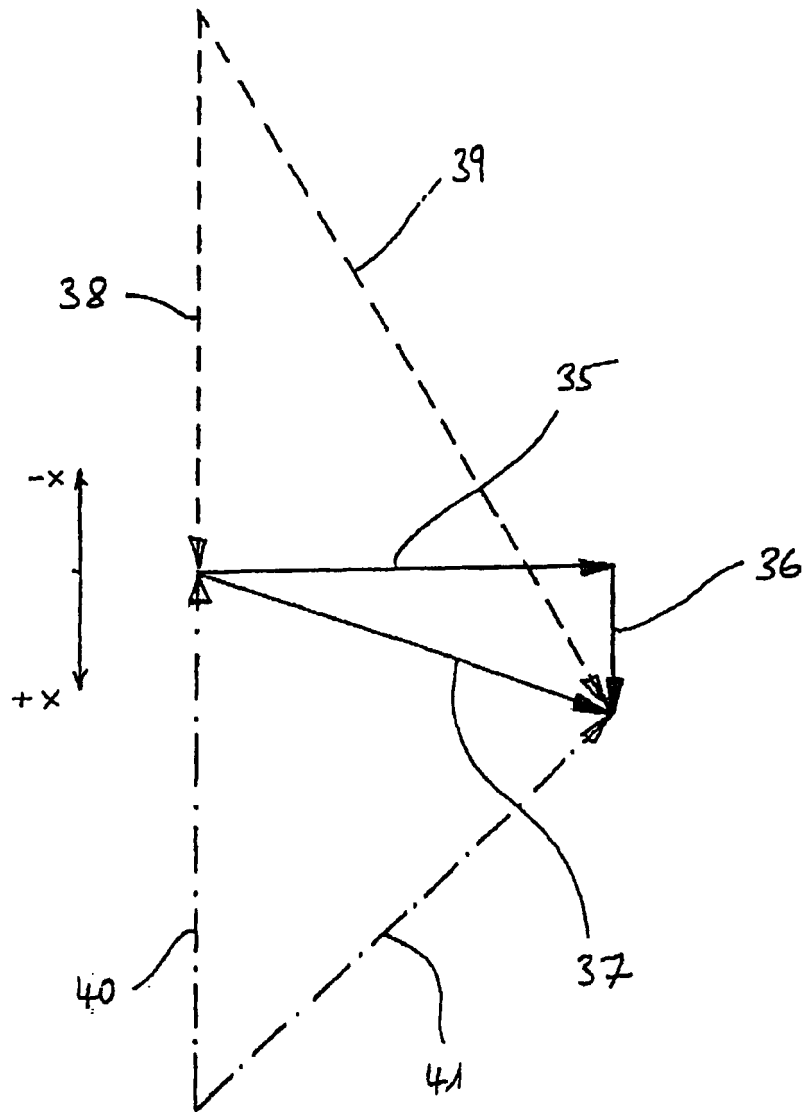
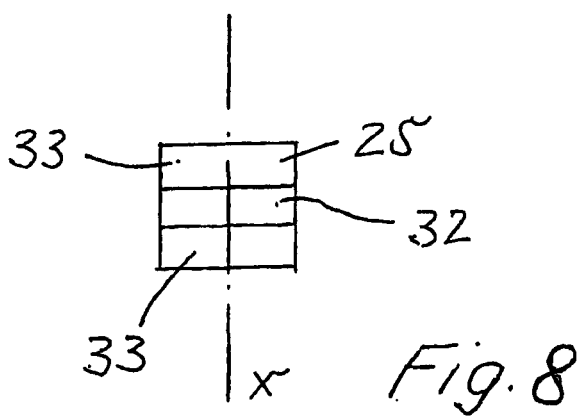
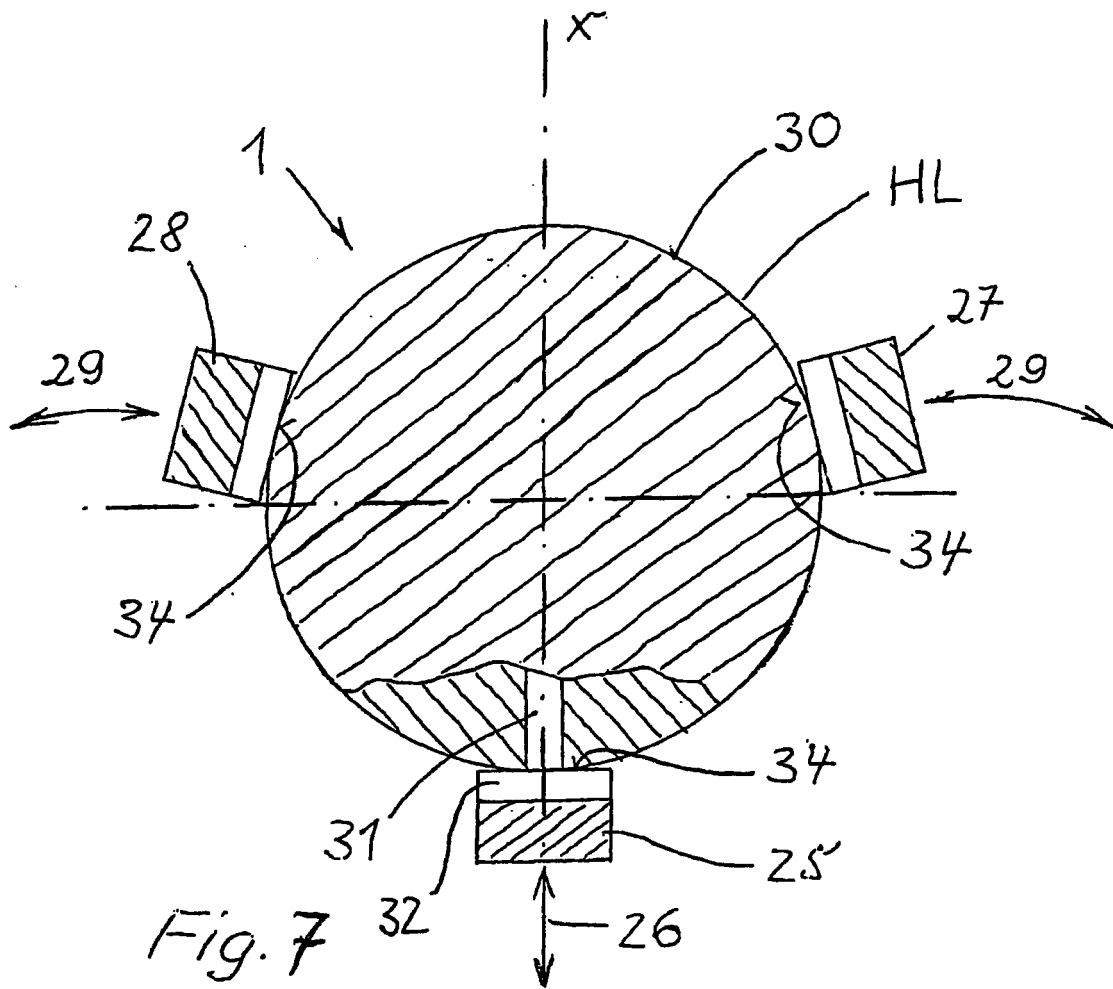


Fig. 6



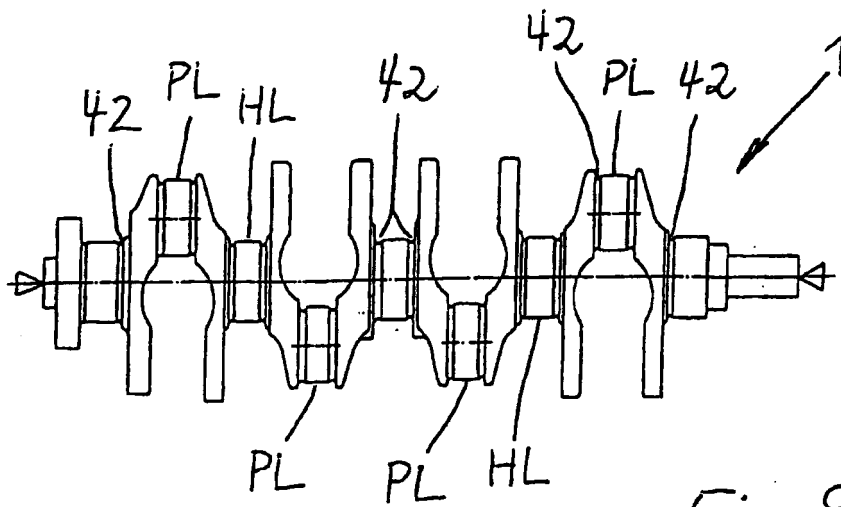


Fig. 9

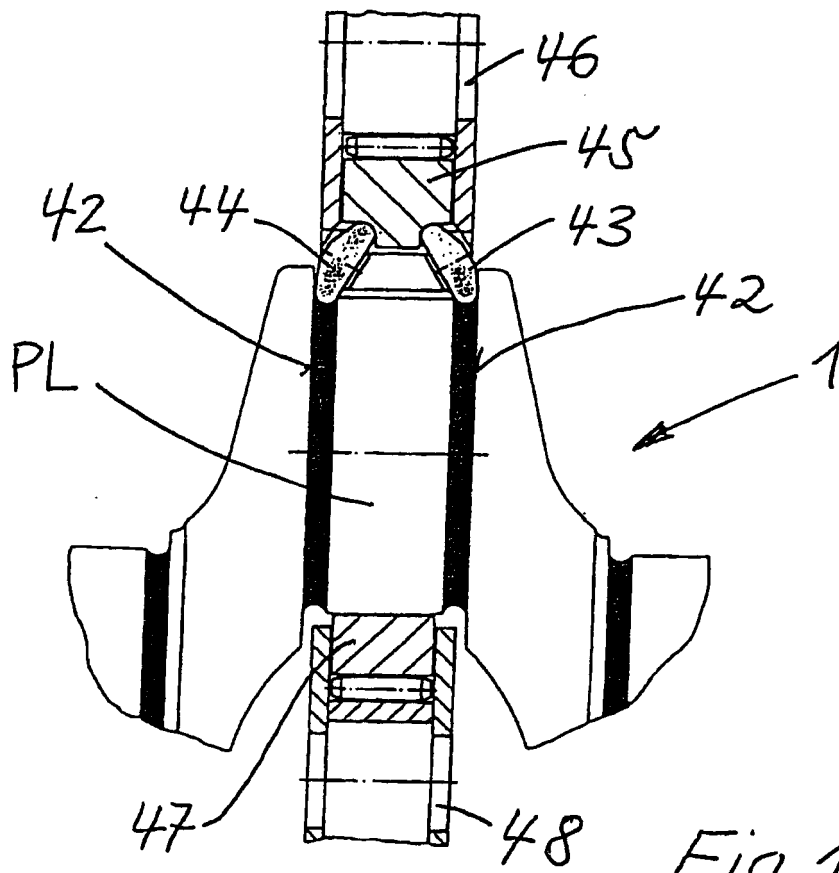


Fig. 10

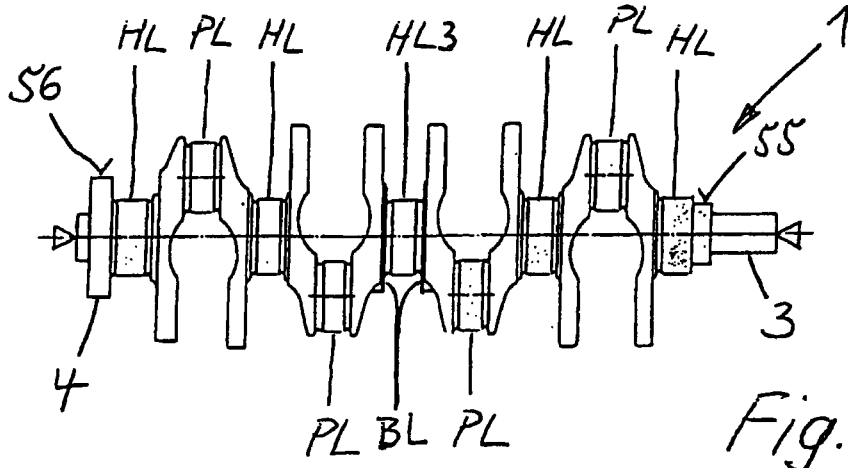


Fig. 11

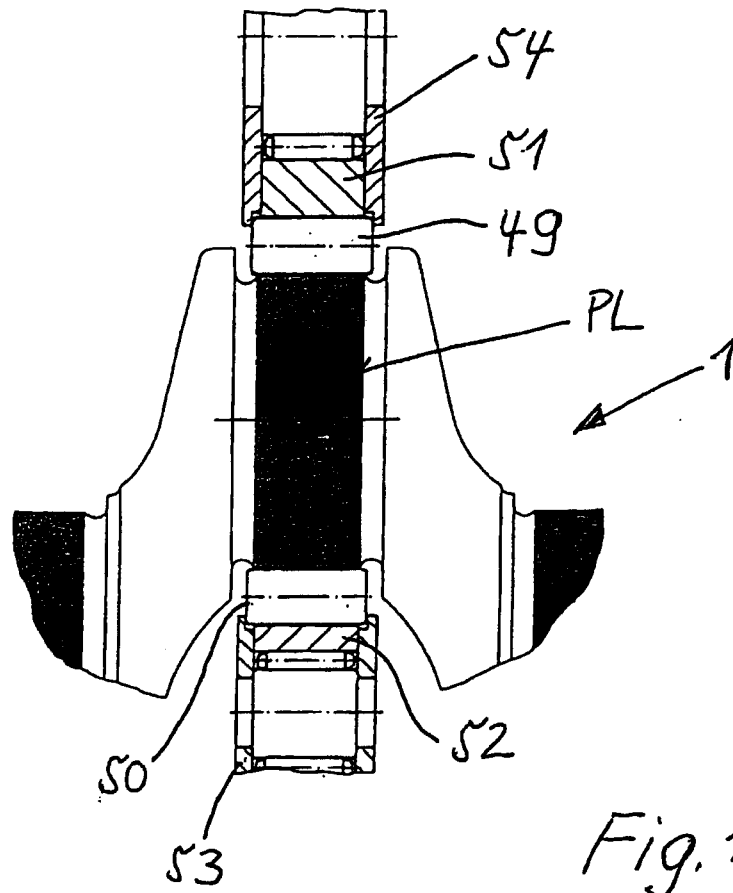


Fig. 12