

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 393 091**

51 Int. Cl.:

B22F 5/08 (2006.01)

F16H 55/06 (2006.01)

F16H 55/08 (2006.01)

F16H 55/17 (2006.01)

B21H 5/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06776043 .9**

96 Fecha de presentación: **08.06.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **1888279**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **20.02.2008**

54 Título: **Componente de vehículo automóvil que comprende un dentado con compactación superficial asimétrica**

30 Prioridad:
10.06.2005 DE 102005027050

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
18.12.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
18.12.2012

73 Titular/es:
**GKN SINTER METALS HOLDING GMBH (100.0%)
KREBSÖGE 10
42477 RADEVORMWALD, DE**

72 Inventor/es:
**KOTTHOFF, GERHARD y
EUBA, JAKOB**

74 Agente/Representante:
CURELL AGUILÁ, Mireia

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 2 393 091 T3

DESCRIPCIÓN

Componente de vehículo automóvil que comprende un dentado con compactación superficial asimétrica.

- 5 La presente invención se refiere a un componente de vehículo automóvil con un dentado, así como a un procedimiento para el mismo.

Los componentes de vehículo automóvil presentan a menudo dentados para transmitir fuerzas o permitir una colocación exacta. En este ámbito existen mayoritariamente sólo dentados en componentes que son de un material macizo, en particular de acero, o que han sido forjados. Esto se debe a menudo a dudas con respecto a la seguridad frente a otros materiales.

De la disertación "Neue Verfahren zur Tragfähigkeitssteigerung von gesinterten Zahnradern" de Gerhard Kotthoff, tomo 23/2003, editorial Shaker, ISBN 3-8322-2125-5, se deducen investigaciones fundamentales en las cuales se basa en una laminación de superficie de ruedas dentadas para aumentar su densidad y resistencia, recurriendo a consideraciones de la técnica de mecanizado con arranque de virutas.

El objetivo de la presente invención es crear una posibilidad de crear un espacio libre para el uso de nuevos materiales de trabajo también en ámbitos en los que se usan materiales de trabajo de forma dominante.

Este objetivo se alcanza mediante un componente de vehículo automóvil que presenta por lo menos un dentado de material sinterizado con las características de las reivindicaciones 2, 3 ó 4 así como con un procedimiento con las características de la reivindicación 6. Configuraciones y perfeccionamientos ventajosos se indican en las respectivas reivindicaciones dependientes. Las características indicadas en cada caso en la descripción pueden combinarse de forma general o especial con otras características para obtener perfeccionamientos. En particular los ejemplos indicados con sus respectivas características no deben interpretarse como limitativos. Las características indicadas en los mismos más bien también pueden combinarse con otras características de otros ejemplos o de la descripción general.

Se da a conocer un componente de vehículo automóvil que presenta por lo menos un dentado de material sinterizado, presentando el dentado una compactación superficial asimétrica de un primer flanco de diente en comparación con una compactación superficial a lo largo de un segundo flanco de diente del diente y/o en una base de diente en comparación entre una zona izquierda de base de diente y una zona derecha de pie de diente, presentando el dentado una compactación superficial asimétrica que está adaptada a una sollicitación del componente de vehículo automóvil.

Una configuración según la reivindicación 1 prevé que un componente de vehículo automóvil sea una rueda dentada de bomba que presenta una densidad de núcleo entre 6,8 y 7,2 g/cm³ y una dureza inferior a 200 HV en un flanco del dentado, presentando una compactación superficial máxima en el flanco una profundidad inferior a 0,1 mm y presentando una densidad superficial máxima inferior a 7,4 g/cm³, en particular inferior a 7,3 g/cm³, presentando la rueda dentada un módulo entre 2,5 mm y 40 mm, un diámetro exterior entre 25 mm y 60 mm, una anchura de diente entre 20 y 60 mm y una calidad según la norma DIN de la clase 7 u 8.

Otra configuración según la reivindicación 2 prevé que el componente de vehículo automóvil sea una rueda dentada de accionamiento preferentemente accionada de forma hidráulica, que presenta una densidad de núcleo entre 6,8 y 7,2 g/cm³ y una dureza inferior a 400 HV tras una etapa de endurecimiento por sinterización o inferior a 200 HV tras una compactación superficial en un flanco del dentado, presentando una compactación superficial máxima una profundidad inferior a 0,12 mm en caso del endurecimiento por sinterización o una profundidad inferior a 0,5 mm en caso de una compactación superficial, presentando una densidad superficial máxima por lo menos una densidad de 7,65 g/cm³, en particular de por lo menos 7,75 g/cm³, presentando la rueda dentada un módulo entre 0,8 y 3,5 mm, un diámetro exterior entre 80 mm y 140 mm, una anchura de diente entre 4 mm y 11 mm y una calidad según la norma DIN de la clase 6 ó 7, así como una base de diente que no está compactada por la superficie o presenta una densidad superficial máxima que preferentemente presenta una profundidad de 0,075 mm como máximo.

Una alternativa según la reivindicación 3 prevé que el componente de vehículo automóvil sea una rueda dentada de cadena, que presenta una densidad de núcleo entre 6,8 y 7,35 g/cm³ y una dureza inferior a 250 HV en un flanco de superficie compactada del dentado, presentando una compactación superficial máxima una profundidad entre 0,3 mm y 0,7 mm, presentando una densidad superficial máxima por lo menos una densidad de 7,5 g/cm³, en particular de por lo menos 7,65 g/cm³, presentando la rueda dentada de cadena un módulo entre 1,2 y 3,5 mm, un diámetro exterior entre 50 mm y 140 mm, una anchura de diente entre 5 mm y 12 mm, una calidad según la norma DIN por lo menos de la clase 7 u 8, así como una base de diente que no está compactada por la superficie o presenta una densidad superficial máxima que preferentemente presenta una profundidad de 0,075 mm como máximo, siendo una dureza del flanco del dentado superior a 60 HRC por endurecimiento.

A su vez el componente de vehículo automóvil según la reivindicación 4 puede ser una rueda dentada de control que presenta una densidad de núcleo entre 7,0 y 7,4 g/cm³ y una dureza inferior a 250 HV en un flanco de superficie

compactada del dentado, presentando una compactación superficial máxima una profundidad entre 0,3 mm y 0,7 mm, presentando una densidad superficial máxima por lo menos una densidad de 7,5 g/cm³, en particular de por lo menos 7,65 g/cm³, presentando la rueda dentada de control un módulo entre 1,2 mm y 3,5 mm, un diámetro exterior entre 50 mm y 140 mm, una anchura de diente entre 5 mm y 12 mm, una calidad según la norma DIN por lo menos de la clase 6 ó 7, así como una base de diente que presenta una densidad superficial máxima que preferentemente presenta una profundidad de por lo menos 0,03 mm, siendo una dureza del flanco del dentado superior a 60 HRC mediante endurecimiento y preferentemente estando realizado un mecanizado de superficie por lo menos de los flancos de dientes para conseguir un contorno final.

Un perfeccionamiento prevé que el componente de vehículo automóvil sea un engranaje de ruedas dentadas en el que todas las ruedas dentadas estén fabricadas en por lo menos un árbol de metal sinterizado.

Los ámbitos de uso especiales anteriormente indicados pueden combinarse con las respectivas características que siguen ahora para obtener configuraciones ventajosas especiales adicionales.

En un perfeccionamiento de un procedimiento para fabricar un elemento de dentado metálico endurecido por lo menos en parte por la superficie, que presenta un material sinterizado compactado, una preforma del elemento de dentado se fabrica con una sobremedida selectiva local con respecto a una medida final del elemento de dentado y se lamina mediante por lo menos una herramienta de laminación para obtener la medida final, compactándose con variación local el elemento de dentado por lo menos en la zona de por lo menos un flanco y/o de un pie de un diente del elemento de dentado para generar una película de laminación compactada en una superficie.

El material sinterizado compactado se fabrica en particular con procedimientos de la pulvimetalurgia. Por ejemplo un polvo metálico se sinteriza bajo una presión en conexión con un tratamiento térmico. Además por ejemplo se moldea por inyección polvo metálico en conexión con plástico y en particular se sinteriza bajo una presión preferentemente con un tratamiento térmico. Para una conformación de una pieza de trabajo sinterizado se utiliza en particular una forma sinterizada que presenta por lo menos casi la medida final del elemento de dentado que va a fabricarse. Preferentemente se utiliza como preforma la pieza de trabajo que resulta directamente del proceso de sinterización. Sin embargo, en otra variante también puede añadirse a continuación por lo menos una etapa de mecanizado de superficie adicional. La preforma presenta a este respecto una medida adicional que debe considerarse como diferencia con respecto a una medida final, definiéndose la diferencia preferentemente por puntos de manera perpendicular con respecto a la superficie.

Como herramienta de laminación se utiliza por ejemplo un rodillo que está dotado de un dentado, que puede engranarse con un dentado del elemento de dentado. Una herramienta de laminación de este tipo se rueda en particular bajo una presión sobre una superficie del elemento de dentado. Preferentemente se utilizan en particular al mismo tiempo dos o varias herramientas de laminación de este tipo. Por ejemplo una rueda dentada que va a fabricarse puede disponerse de forma centrada entre dos herramientas de laminación. Mediante la aproximación de las dos herramientas de laminación puede provocarse entonces una compactación superficial del material sinterizado del dentado. En general un procedimiento de fabricación de este tipo se deduce por ejemplo por Takeya *et al.*, "Surface Rolling of sintered gears", SAE 1982 World Congress, Technical Paper 820234. También por los documentos DE 33 250 37, US 4.059.879, EP 0 552 272 A1, EP 1 268 102 A1, US 5.729.822, US 5.711.187, US 5.884.527, US 5.754.937, US 6.193.927, EP 0 600 421 A1 y GB 2.250.227 se deducen en cada caso diferentes procedimientos de fabricación, materiales sinterizados, herramientas, proceso de la compactación y dispositivos para dentados sinterizados, que también pueden usarse de forma adaptada a la invención. A los documentos anteriores se hace referencia de forma correspondiente al marco de esta divulgación.

Por ejemplo puede utilizarse también una primera herramienta de laminación bajo una primera presión fundamentalmente para la laminación de contorno grueso y a continuación una segunda herramienta bajo una segunda presión para conseguir la compactación superficial que debe ajustarse de forma controlada.

La sobremedida selectiva local está dimensionada especialmente de forma que el elemento de dentado se compacta con variación local por lo menos en la zona de por lo menos un flanco y/o de un pie de un diente del elemento de dentado en una película de laminación en una superficie. Preferentemente dentro de la película de laminación compactada se consigue una densidad total, debiendo entenderse la densidad total preferentemente con respecto a una densidad de un diente comparable sometido a forjado de polvo. Por ejemplo una preforma de un material de trabajo sinterizado presenta en un núcleo una densidad de por lo menos 6,8 g/cm³, preferentemente de por lo menos 7,1 g/cm³, y en particular de por lo menos 7,3 g/cm³. En la película de laminación compactada la preforma presenta por ejemplo una densidad de por lo menos 7,7 g/cm³, preferentemente de por lo menos 7,8 g/cm³, lo que corresponde a la densidad de una preforma sometida a forjado de polvo del mismo material de trabajo. De manera especialmente ventajosa se consigue a este respecto un desarrollo de resistencia con resistencia a la sollicitación. Además se proporciona con un desarrollo de densidad con resistencia a la sollicitación y localmente variable preferentemente un dentado sinterizado resistente a sollicitaciones elevadas. El desarrollo de densidad puede presentar en particular en las zonas más sollicitadas un mayor grado de densidad por una zona más grande en comparación con zonas inmediatamente adyacentes de menor sollicitación. Mediante una determinación de una

sobremedida óptima un dentado fabricado de esta manera puede fabricarse también de forma económica en pocas etapas de trabajo.

Según una configuración la película de laminación compactada en cada caso de diferente manera se genera conjuntamente a través de una sobremedida diferente a lo largo de un flanco y/o base de diente de la preforma. Por ejemplo está previsto que una profundidad de la película de laminación compactada, visto en cada caso de manera perpendicular con respecto a la superficie, presente un máximo de la densidad aproximadamente en el lugar de una sollicitación máxima. Éste puede ser por ejemplo a la mitad de la altura del diente y disminuir en cada caso de forma permanente hasta cero hacia la cabeza del diente y hacia el pie del diente. En particular para evitar roturas de diente por exceso de presión y falta de lubricación se prevé por ejemplo que en un intervalo entre el 20% y el 30%, en particular entre el 23% y el 25% por debajo del círculo de laminación se ajuste una compactación especialmente elevada en el material sinterizado. Sin embargo, también pueden preverse otros desarrollos. En particular se considera en caso de un diseño de un desarrollo de compactación un desarrollo de fuerza en un flanco de diente del elemento de dentado en su fin de uso según su utilización. Por ejemplo se recurre para ello a las fuerzas que se producen en dientes de una rueda dentada en un engranaje y se recurre a los desarrollos de tensión de comparación por debajo de la superficie que resultan de las mismas. Este modo de proceder también es posible en otros dentados.

Es especialmente ventajoso que una sobremedida en un primer flanco del diente se elija de forma diferente que en un segundo flanco del diente. A este respecto se tienen en cuenta en particular una dirección de transmisión de fuerza en un fin de uso según la utilización de un elemento de dentado. En una rueda dentada en un engranaje se tiene en cuenta a este respecto por ejemplo que en función de un sentido de giro en el sentido de giro se producen fuerzas en los flancos de dientes distintas que en el sentido de giro contrario. Además puede compensarse una compactación diferente debido a un sentido de giro de una herramienta de laminación. Preferentemente las sobremedidas se eligen de forma que tras un proceso de compactación resulta un desarrollo de compactación idéntico a lo largo del primero y del segundo flanco de diente.

Por ejemplo para evitar grietas por tensiones en un pie de diente o una zona de base de diente se busca una capa superficial localmente compactada también en estas zonas. Es especialmente conveniente cuando en una base de pie se elige una sobremedida asimétrica. Por ejemplo una zona de pie de diente izquierda presenta una profundidad de compactación distinta que un pie de diente derecho. En particular puede proporcionarse en cada caso entre dos dientes una variación preferentemente constante de una profundidad de una película de laminación mediante una variación correspondiente de la sobremedida.

Preferentemente, se prevé en el diseño de un dentado una sobremedida diferente, preferentemente asimétrica no sólo con respecto a un flanco, sino preferentemente con respecto a dos flancos opuestos entre sí. Además se prevé una sobremedida diferente en el pie de diente que preferentemente es asimétrica. También los flancos de diente y los pies de diente de un dentado pueden ser en cada caso asimétricos. Como sobremedida debe entenderse no sólo la puesta a disposición de material adicional. A esto pertenece más bien también una dimensión inferior a la medida especificada. Por esto debe entenderse que está previsto menos material sinterizado en una zona de lo que debería estar previsto con respecto a un contorno final tras una etapa de trabajo. La dimensión inferior a la medida especificada determinada garantiza por ejemplo que en caso de desplazamiento de material sinterizado no se producen elevaciones no deseadas. La dimensión inferior a la medida especificada representa por tanto una zona que debe rellenarse en particular mediante desplazamiento de material sinterizado de una preforma con un dentado.

Además existe la posibilidad de prever diferentes ángulos de engranado en un diente de un dentado. Así, el ángulo de engranado de uno de los flancos del diente puede presentar una desviación de por lo menos el 15% con respecto al ángulo de engranado del otro flanco del diente.

En una configuración está previsto que por lo menos 20 µm por debajo de una superficie de un primer flanco del diente se genere una densidad más alta en de un 2% hasta por lo menos un 15% que en un segundo flanco del diente a la misma altura. Preferentemente se consigue en el primer flanco del diente una densidad que corresponde por lo menos aproximadamente a la densidad que se consigue para un elemento de dentado sometido a forjado de polvo, mientras que el segundo flanco presenta una densidad inferior. Por ejemplo en un flanco se ajusta una densidad en un intervalo entre 7,2 g/cm³ y 7,7 g/cm³, mientras que en el intervalo correspondiente del segundo flanco se ajusta una densidad entre 7,5 g/cm³ y 7,82 g/cm³. En particular con ello se tienen en cuenta a su vez por ejemplo diferentes sollicitaciones dependientes del sentido de giro de los dos flancos de diente. Preferentemente se consigue a este respecto un desarrollo de elasticidad y dureza que cumple con los requisitos. De manera aún más preferible se reduce de este modo la producción de ruido por ejemplo en un engranaje.

Además está previsto que una sobremedida local en un primer flanco del diente se elija de forma que sea por lo menos un 10% más grande que una sobremedida en un segundo flanco del diente a la misma altura. En una primera variante se consigue de este modo por ejemplo que debido a una sollicitación por presión diferente en la compactación en función del sentido de giro se consiga un desarrollo de compactación idéntico en el primer y el segundo flanco de diente. En otra variante se consigue por ejemplo un desarrollo de compactación diferente en el

primer y el segundo flanco de diente. A este respecto pueden ajustarse de manera controlada en particular diferentes densidades máximas, sus profundidades igual que su lugar con respecto a la altura del dentado.

Es especialmente conveniente cuando un importe de una sobremedida local máxima asciende a por lo menos 15 μm , preferentemente a por lo menos 100 μm y de manera especialmente preferible a por lo menos 400 μm . Si la densidad de la preforma se sitúa en un intervalo entre 7,2 g/cm³ y 7,5 g/cm³ se prevé preferentemente una sobremedida máxima entre 20 y 150 μm . Si la densidad de la preforma se sitúa entre 6,7 g/cm³ y 7,2 g/cm³ se utiliza preferentemente una sobremedida máxima entre 50 μm y 500 μm . A este respecto una sobremedida también puede ser localmente negativa, teniéndose en cuenta por ejemplo una redistribución lateral de material. Una redistribución lateral puede realizarse mediante el flujo de material durante un proceso de laminación. En particular puede estar prevista una sobremedida por lo menos localmente negativa que localmente se sitúa por debajo de la medida final. La sobremedida negativa asciende preferentemente a 100 μm como máximo. Según una configuración la sobremedida negativa asciende a menos de 50 μm como máximo y en particular menos que 20 μm . En particular la sobremedida negativa máxima se sitúa en un intervalo entre 100 μm y 20 μm .

Preferentemente se consigue una densidad que por lo menos en una zona de un flanco de diente del dentado alcanza una profundidad entre 1 mm y 1,5 mm. En cambio, la compactación en el pie de diente puede ser inferior. Según una configuración la profundidad máxima de la compactación de un flanco de diente es superior en por lo menos el factor 6 que una profundidad máxima de una compactación en una zona del pie de diente correspondiente. Esto permite que el dentado tenga por un lado una resistencia suficiente, aunque por otro lado también mantiene una cierta capacidad de deformación. De este modo se evita una rotura de diente.

En una configuración del procedimiento está previsto que la preforma y la herramienta de laminación se rueden una sobre otra hasta que se genere un movimiento conformante de manera definitiva entre el elemento de dentado fabricado de este modo y la herramienta de laminación. Esto se utiliza por ejemplo para la fabricación de ruedas dentadas engranadas entre sí. Preferentemente se reduce durante la operación de rodadura con la herramienta de laminación una distancia entre la herramienta de laminación y la preforma. De manera correspondiente se ajusta o adapta para ello en particular una presión de laminación. Además de la posibilidad de un control de fuerza también puede estar realizado un control de trayecto en la máquina. Además existe la posibilidad de prever una combinación de control de fuerza y control de trayecto en la fabricación del dentado. A este respecto puede producirse también en una sección de la fabricación un mero control de trayecto y en otra sección de la fabricación un mero control de fuerza. Éstas también pueden alternarse varias veces.

En otra configuración está previsto que mediante un movimiento de laminación entre la preforma y la herramienta de laminación se produzca un dentado en forma de cicloide y/o en forma de envolvente.

Otra mejora de un endurecimiento superficial puede conseguirse en particular porque el procedimiento para fabricar un elemento de dentado metálico compactado por lo menos en parte por la superficie comprende un proceso de endurecimiento superficial térmico y/o químico.

En una primera variante se utiliza como proceso de endurecimiento térmico y/o químico por ejemplo una cementación. Preferentemente se consigue a este respecto además de un aumento de la dureza una reducción de tensiones. En otra variante se utiliza por ejemplo un proceso de carbonitruración. Además puede utilizarse un proceso de nitruración o de nitrocarburoación así como un proceso de boronización. En particular se consigue en estos procesos en conexión con un tratamiento térmico también una reducción de una tensión. Mediante el ajuste de la presión que reina puede influirse también en el endurecimiento. Por ejemplo puede ajustarse un vacío, en particular cuando se lleva a cabo una cementación. También existe la posibilidad de llevar a cabo un endurecimiento por inducción.

El endurecimiento se realiza según una configuración sólo de forma parcial, por ejemplo sólo en la zona de dentado.

En una variante preferida está previsto que un procedimiento para fabricar un elemento de dentado metálico endurecido por lo menos en parte por la superficie que presenta un material sinterizado compactado comprenda las etapas "prensado en frío o en caliente, sinterización, laminación de compactación superficial y de medida así como cementación". Por ejemplo se realiza en primer lugar un prensado en frío de un polvo metálico en un molde que presenta por lo menos aproximadamente la medida final del elemento de dentado que va a fabricarse. En una segunda etapa se realiza por ejemplo el proceso de sinterización bajo el efecto de calor con o sin efecto de presión. Preferentemente a continuación de ésta se realiza la compactación superficial y de medida mediante laminación. Tal como ya se mencionó anteriormente una laminación de compactación superficial y de medida se realiza preferentemente al mismo tiempo mediante por lo menos dos herramientas de laminación. A continuación puede realizarse finalmente el endurecimiento, en particular la cementación, que permite un endurecimiento adicional de la superficie.

Otras posibles etapas de procedimiento o transcurso de procedimiento igual que indicaciones más detalladas con respecto a piezas de trabajo se indican a continuación a modo de ejemplo. Sin embargo, las etapas de procedimiento también pueden realizarse con otros materiales y valores de densidad conseguidos. Los materiales

sinterizados que pueden utilizarse pueden usarse tal como sigue de forma general en el marco de la invención, indicándose materiales que pueden utilizarse a modo de ejemplo:

- 5 - polvo mezclado (admixed powders): por ejemplo polvo de hierro se mezcla con otros polvos preferentemente elementales. Por ejemplo:

Ancorsteel 1000+1,5-3,5 sin Cu + 0,6-1,1 sin grafito +0,5-1,2 sin lubricante

Ancorsteel 1000B+1,5-2,2 sin Ni + 0,4-0,9 sin grafito + 0,6-1,1 sin lubricante

- 10 - polvos aleados en parte (partially alloyed, diffusion alloyed powders): un polvo en el que el o los componentes de aleación están unidos de forma metalúrgica con polvo elemental o polvo previamente aleado. Por ejemplo Distaloy AB, Distaloy 4600A, Distaloy AE, Distaloy 4800A

- 15 - polvos previamente aleados (pre-alloyed powders): polvo a partir de dos o más elementos que se alean durante la fabricación de polvo, distribuyéndose las partículas de polvo de manera uniforme. Por ejemplo: Ancorsteel 4600V, Ancorsteel 2000, Ancorsteel 86, Ancorsteel 150HP

- 20 - aleación híbrida (hybrid alloy): polvos previamente aleados o aleados en parte con adiciones elementales o aleadas con hierro que se mezclan para obtener la composición de materiales deseada. Por ejemplo:

Ancorsteel 85P+1,5-2,5 sin Ni +0,4-0,8 sin grafito + 0,55-1,1 sin adición de lubricante

- 25 Distaloy AE +1,5-2,5 sin Ni + 0,4-0,8 sin grafito + 0,55-0,95 adición de lubricante

Ancorsteel 85HP + 1,1-1,6 sin FeMn + 0,35-0,65 sin grafito + 0,6-0,95 adición de lubricante

- 30 1. La pieza de trabajo presenta una densidad de núcleo entre 6,5 y 7,5 g/cm³. La densidad de superficie asciende a más de 7,5 g/cm³. Una densidad máxima se genera hasta una profundidad de 0,1 mm.

Materiales de partida para la preforma son polvos de metal sinterizado, en particular materiales previamente aleados, materiales parcialmente aleados o aleaciones híbridas.

- 35 Con un material previamente aleado se lleva a cabo un prensado en frío, una sinterización en un intervalo de temperatura entre 1100 °C y 1150 °C, una compactación superficial, una cementación y un pulido subsiguiente para conseguir una forma final de una pieza de trabajo con dentado.

- 40 Con un material sinterizado metálico parcialmente aleado se realiza un prensado en caliente a una temperatura de prensa en un intervalo entre 50 °C y 80 °C, una sinterización a alta temperatura en un intervalo preferentemente entre 1250 °C y 1280 °C, una compactación superficial, una cementación de vacío subsiguiente y un bruñido para conseguir una forma final de una pieza de trabajo con dentado.

- 45 Con un material sinterizado que presenta una aleación híbrida se realiza un prensado en caliente en el que preferentemente están calentados el polvo y la herramienta. Preferentemente éstos están calentados en un intervalo entre 120 °C y 150 °C. A continuación tiene lugar una etapa de sinterización, por ejemplo como sinterización a alta temperatura, una compactación superficial y a continuación un endurecimiento por inducción. Puede prescindirse por ejemplo de un tratamiento posterior.

- 50 2. La preforma ha sido sometida a forjado de polvo. Esta preforma se compacta por la superficie por lo menos en parte en la zona de los flancos de diente y/o del pie de diente. Una densidad de núcleo de la pieza de trabajo asciende a entre 5,7 g/cm³ y 7,7 g/cm³. Una densidad superficial asciende a más de 7,8 g/cm³, estando cerrados preferentemente en este intervalo todos los poros restantes en la superficie. Sin embargo, también puede generarse una densidad máxima hasta una profundidad de 1,5 mm.

- 55 Un procedimiento de fabricación puede realizarse de la siguiente manera: elección del material de polvo, prensado en frío del material de polvo, sinterización preferentemente a una temperatura de aproximadamente 1120 °C, a continuación forjado, preferentemente a una temperatura alrededor de 1000 °C, eventualmente eliminación de una capa de oxidación, compactación superficial en particular mediante laminación, endurecimiento de la superficie, en particular cementación, y un posible pulido parcial subsiguiente para obtener un contorno final. El procedimiento puede realizarse parcial o completamente en un tren de fabricación.

- 60 Otra configuración prevé que en el endurecimiento de superficie se realice una cementación de vacío al que sigue una etapa de bruñido para zonas parciales del dentado.

65

3. En particular para la producción de rotores y ruedas de bomba de aceite una preforma de material que contiene aluminio se compacta por la superficie en la zona de los flancos de diente y/o de los pies de diente. En la compactación superficial se consigue en particular una forma final del dentado. La densidad de núcleo de la pieza de trabajo asciende preferentemente a entre 2,6 g/cm³ y 2,8 g/cm³.

El material sinterizado por ejemplo se prensa en caliente, por ejemplo a una temperatura entre 40 °C y 65 °C, a continuación se le elimina la cera, por ejemplo a una temperatura superior a 400 °C, en particular en un intervalo de temperatura entre 420 °C y 440 °C, se sinteriza a continuación, por ejemplo en un intervalo de temperatura por encima de 550 °C, en un particular en un intervalo de temperatura entre 600 °C y 630 °C, a continuación se homogeniza y se enfría, por ejemplo hasta una temperatura entre 480 °C y 535 °C, realizándose a continuación una compactación superficial en particular mediante laminación. A continuación puede realizarse un endurecimiento, por ejemplo en un intervalo de temperatura entre 120 °C y 185 °C para un periodo de tiempo entre 6 h y 24 h.

4. La preforma se compacta preferentemente a lo largo del flanco de diente y del pie de diente, empleándose en particular dos herramientas de laminación en cuyo centro se dispone de manera giratoria la preforma. Una densidad de núcleo de la pieza de trabajo asciende según el material preferentemente a entre 7,2 g/cm³ y 7,5 g/cm³, una densidad superficial es por lo menos por secciones superior a 7,8 g/cm³ dependiendo del material. Existe una densidad máxima en particular hasta una profundidad de 1 mm, eventualmente también más allá de la misma.

En cuanto a las etapas de fabricación se propone según una configuración prensar en frío material previamente aleado, sinterizarlo a continuación, en particular en un intervalo de temperatura entre 1100 °C y 1150 °C, llevar a cabo una compactación superficial, realizar un endurecimiento y eventualmente pulir la superficie parcialmente.

Una configuración adicional prevé prensar en caliente un material sinterizado parcialmente aleado, en particular en un intervalo de temperatura entre 50 °C y 90 °C, realizar una sinterización a alta temperatura, en particular en un intervalo de temperatura entre 1240 °C y 1290 °C, llevar a cabo una compactación superficial, llevar a cabo una cementación de vacío y eventualmente a continuación bruñirlo.

Otra configuración prevé prensar con mucho calor una aleación híbrida, habiéndose calentado el polvo y la herramienta de prensado preferentemente en un intervalo de temperatura entre 120 °C y 160 °C. Tras una etapa de sinterización se realiza una compactación superficial a la que sigue un endurecimiento, preferentemente un endurecimiento por inducción.

5. Además existe la posibilidad de que a una sinterización previa siga una compactación superficial y a continuación a su vez esté prevista una sinterización posterior como etapa de procedimiento en la fabricación de una pieza de trabajo con dentado. La sinterización previa puede realizarse por ejemplo en un intervalo de temperatura entre 650 °C hasta 950 °C. La sinterización posterior puede realizarse por ejemplo a una temperatura de sinterización habitual para el material, por ejemplo entre 1050 °C y 1180 °C. También exista la posibilidad de la sinterización a alta temperatura, por ejemplo en el intervalo entre 1250 °C y 1280 °C. A ésta puede seguir opcionalmente un endurecimiento y/o un tratamiento posterior, por ejemplo un bruñido o también un pulido.

El prensado previsto puede realizarse en frío, en caliente o con mucho calor, habiéndose calentados preferentemente en éste último la herramienta de prensado y el polvo. Por ejemplo el prensado con mucho calor se realiza en un intervalo de temperatura entre 120 °C y 160 °C.

6. Un perfeccionamiento prevé que a una etapa de sinterización posterior siga un endurecimiento por sinterización. Opcionalmente puede seguir a éste un pulido o bruñido.

7. Un procedimiento de fabricación adicional prevé compactar la preforma a una temperatura situada por encima de 150 °C, en particular por encima de 500 °C. Por ejemplo la preforma puede guiarse directamente desde un horno de sinterización al interior de una máquina para la compactación superficial. A este respecto la preforma puede presentar una temperatura que se sitúa por ejemplo por encima de 600 °C, que en particular asciende también a más de 800 °C. Preferentemente la o las herramienta(s) para la compactación superficial se calienta(n), por ejemplo hasta una temperatura de aproximadamente 150 °C. Según otra configuración la herramienta para la compactación superficial está enfriada, preferentemente a través de un enfriamiento que discurre en el interior de la herramienta.

8. Un procedimiento de fabricación adicional prevé que se realice una compactación superficial, mientras que la preforma se calienta por lo menos parcialmente. En particular el calentamiento se realiza hasta una temperatura que facilita la compactación superficial. Preferentemente se emplea para ello un calentamiento por inducción. A continuación se realiza un enfriamiento rápido para crear una estructura martensítica. De este modo puede combinarse por ejemplo un proceso de conformación con una compactación superficial.

Una configuración adicional prevé que pueda realizarse una compactación superficial con los procedimientos más diferentes. Una configuración prevé en particular que en una primera zona la compactación superficial esté realizada con un procedimiento distinto que en una segunda zona distinta. Como procedimiento pueden emplearse a este respecto un granallado de endurecimiento, un granallado con perdigones, una compactación mediante una bola, mediante un rodillo o mediante otro cuerpo rotatorio, mediante herramientas configuradas con forma de diente, en particular herramientas de laminación y similar. Estos procedimientos también son adecuados de forma individualmente separada entre sí en cada caso para permitir una compactación superficial necesaria.

Por ejemplo el pie de diente no se compacta o sólo se compacta ligeramente con una herramienta con la que se compacta también el flanco de diente. Existe la posibilidad de compactar la superficie en una sección en tal medida que sólo los poros están cerrados en la superficie. A continuación el pie de diente puede mecanizarse con otra herramienta u otro procedimiento de compactación superficial. En particular puede conseguirse a través de ello una compactación superficial diferente a lo largo del flanco de diente en comparación con el pie de diente. Por ejemplo pueden ajustarse de este modo diferentes calidades de superficie, por ejemplo con respecto a la rugosidad. También puede ser diferente la depresión máxima de la superficie debido a las diferentes técnicas. Además existe la posibilidad de que toda la pieza de trabajo con el dentado se someta a una compactación superficial, así por ejemplo en caso del granallado de superficie. De este modo pueden mecanizarse en particular también materiales sinterizados que contienen aluminio u otros materiales sinterizados que producen óxido, ya que con la compactación superficial puede permitirse adicionalmente también una eliminación de una capa de óxido.

Además se da a conocer una preforma para un procedimiento para la fabricación de un elemento de dentado metálico por lo menos en parte compactado por la superficie que presenta un material sinterizado compactado, presentando un primer y un segundo flanco de un diente sobremedidas asimétricas diferentes entre sí en cada caso. Además está previsto también que una primera y una segunda zona de pie de un pie presenten sobremedidas diferentes entre sí, en particular asimétricas.

Además se da a conocer un elemento de dentado con un material de trabajo sinterizado metálico, presentando el elemento de dentado por lo menos en la zona de por lo menos un flanco de un diente del elemento de dentado una compactación localmente variada. Preferentemente se permite de este modo una elasticidad del material pulvimetalúrgico, conveniente para muchas aplicaciones, en conexión con un endurecimiento de superficie. De manera especialmente preferible se permite por ejemplo en el caso de ruedas dentadas de engranaje una reducción de ruido en la transmisión de fuerza y al mismo tiempo se proporciona una buena resistencia frente a desgastes.

En una primer variante está previsto que el elemento de dentado sea una rueda dentada con dientes rectos.

En particular para una transmisión de fuerza mejorada, así como para la reducción de ruido entre ruedas dentadas está previsto en una variante adicional que el elemento de dentado sea una rueda dentada con dientes oblicuos. De manera correspondiente a la descripción indicada más arriba es conveniente que flancos de diente opuestos entre sí de dientes de un elemento de dentado presenten una compactación asimétrica.

Además es conveniente cuando exista una compactación asimétrica en una zona de pie. Esta compactación está adaptada a este respecto en particular a fuerzas que se producen en un uso según la utilización. Para evitar grietas por tensiones está previsto en particular que la profundidad de la película de laminación localmente compactada sólo sea tan profunda que aún se garantice una elasticidad o rigidez suficiente del diente. De manera especialmente preferible la profundidad de la película de laminación compactada en la zona de pie es menor que en un flanco de diente.

Para un material de un elemento de dentado pueden preverse diferentes composiciones. En una primera variante se elige un material de trabajo de hierro como componente principal del material de trabajo sinterizado y por lo menos un componente de aleación del grupo de carbono, molibdeno, níquel, cobre, manganeso, cromo y vanadio. Una aleación de hierro es por ejemplo Fe -1,0 Cr - 0,3 V + 0,2 con respecto a una referencia 15CrNiMo6. Una aleación de hierro adicional es por ejemplo Fe -1,5 Mo + 0,2C con respecto a 20MnCr5. Además está previsto por ejemplo como aleación que contiene hierro Fe -3,5 Mo con respecto a 16MnCr5. Igualmente puede utilizarse por ejemplo la aleación C 0,2% Cr 0,5% Mn 0,5% Mo 0,5%, conteniendo el resto hierro e impurezas. Además pueden estar previstas composiciones adicionales.

Preferentemente para una reducción del peso de un elemento de dentado está previsto que se elija aluminio o magnesio como componente principal del material de trabajo sinterizado. Según un aspecto de la invención está previsto que un dentado compactado por la superficie de material sinterizado presente por lo menos un 80% de aluminio así como por lo menos cobre y magnesio como materiales sinterizados adicionales. Una primera configuración prevé que adicionalmente se use silicio como material sinterizado. Por ejemplo el silicio puede estar presente en un intervalo de aproximadamente de un 0,45% hasta aproximadamente un 0,8%, preferentemente entre un 0,6% y un 0,75%. Sin embargo, el silicio puede estar presente también en un intervalo más elevado, por ejemplo entre un 13% y un 17%, en particular entre un 14,5% y un 15,5%. Si el porcentaje de silicio es más elevado se reduce el porcentaje de cobre en el material sinterizado. Así, una primera mezcla puede presentar por ejemplo un porcentaje de cobre de un 4% a un 5%, un porcentaje de silicio de un 0,45% hasta aproximadamente un 0,8%, un

porcentaje de magnesio de aproximadamente un 0,35% hasta un 0,7% y el resto por lo menos principalmente de aluminio. Además se añade preferentemente un medio auxiliar de prensado. Éste puede estar presente en un porcentaje entre un 0,8% y un 1,8%. Por ejemplo puede usarse para ello una cera, en particular cera de amida. Una segunda mezcla puede presentar por ejemplo un porcentaje de cobre de un 2,2% hasta un 3%, un porcentaje de silicio de un 13% hasta aproximadamente un 17%, un porcentaje de magnesio de aproximadamente un 0,4% hasta un 0,9% y el resto por lo menos principalmente aluminio. También puede utilizarse un medio auxiliar de prensado, tal como se indicó arriba a modo de ejemplo. Tras una compactación superficial por lo menos una zona del dentado presenta una densidad de por ejemplo más de 2,5 g/cm³ preferentemente hasta la densidad máxima. Preferentemente una pieza de trabajo fabricado de este modo con un dentado presenta una resistencia a la tracción de por lo menos 240 N/mm² y una dureza de por lo menos 90HB. Si el porcentaje de silicio es más elevado la densidad puede ascender en particular también a más de 2,6 g/cm³.

Una segunda configuración prevé que adicionalmente se use por lo menos cinc como material sinterizado, además de cobre y magnesio como adiciones y aluminio. Preferentemente el cobre puede estar presente en un porcentaje en un intervalo entre un 1,2% y un 2,1%, en particular entre un 1,5% y un 1,65%, el magnesio puede estar presente en un porcentaje entre un 1,9% y un 3,1%, preferentemente entre un 2,45% y un 2,65%, el cinc puede estar presente en un porcentaje entre un 4,7% y un 6,1%, en particular entre un 2,3% y un 5,55%. El resto es por lo menos principalmente aluminio. Adicionalmente puede emplearse también en este caso un medio auxiliar de prensado, tal como se describió arriba. Una pieza de trabajo con un dentado fabricada a partir de esta mezcla presenta preferentemente tras la compactación superficial por lo menos una zona del dentado en la que discurre una densidad de por lo menos 2,58 g/cm³ hasta la densidad máxima. Preferentemente una pieza de trabajo con un dentado fabricada de este modo presenta una resistencia a la tracción de por lo menos 280 N/mm² y una dureza de por lo menos 120HB.

Es especialmente conveniente que un elemento de dentado esté sinterizado con un componente funcional adicional, en particular un árbol o una rueda dentada adicional. En particular se facilita de este modo mantener una distancia de trabajo precisa entre varios elementos de dentado, por ejemplo en un engranaje.

En una configuración adicional está previsto que el elemento de dentado sea componente de una bomba. Por ejemplo se trata de una rueda dentada evolvente que está engranada con otra rueda dentada evolvente.

Además se da a conocer un dispositivo para fabricar un elemento de dentado compactado por lo menos en parte por la superficie en particular para realizar un procedimiento descrito arriba con un control de herramientas adaptado a una sobremedida diferente. El dispositivo comprende a este respecto en particular por lo menos una herramienta de laminación que preferentemente con ayuda del control de herramientas adaptado preferentemente bajo una presión adaptada y/o trayecto controlado puede actuar en un engranado adaptado sobre la preforma. En particular el dispositivo comprende una herramienta de laminación con una superficie dentada que puede engranarse con el dentado del elemento de dentado y rodarse sobre el mismo.

Además se da a conocer un dispositivo para fabricar un elemento de dentado compactado por lo menos en parte por la superficie a partir de una preforma compuesta por un material sinterizado por lo menos en una zona de superficie, comprendiendo el dispositivo una herramienta que presenta una compensación de diferentes sobremedidas en un primer y un segundo flanco de un diente de la preforma que va a compactarse mediante un movimiento de laminación. La herramienta de laminación puede presentar a este respecto un contorno necesario para la conformación, por ejemplo un dentado evolvente, sólo en un flanco o en ambos flancos de un diente. Sin embargo, en otra variante también está previsto que en cada caso en un primer y un segundo flanco de un diente del dentado de la herramienta de laminación existan sobremedidas en cada caso diferentes entre sí. Esto puede ser por ejemplo un dentado evolvente diferente.

Además se da a conocer un procedimiento para diseñar una sobremedida para conseguir una compactación superficial de un elemento de dentado de metal sinterizado en una operación de laminación, determinándose la sobremedida de forma iterativa. En una primera etapa se establece por ejemplo una geometría así como en particular un par de giro y/o una distribución de presión. En una etapa adicional se define por ejemplo un diseño de una herramienta de laminación. Además se determina una preforma con una sobremedida localmente definida. Una elección puede realizarse por ejemplo mediante bibliotecas de datos. Una biblioteca de base de datos de este tipo contiene por ejemplo desarrollos de densidad experimentales determinados mediante diferentes parámetros. Además puede realizarse una simulación de la operación de compactación o de laminación. Para ello se simula por ejemplo la cinemática de la operación de rodadura en conexión con una simulación de propiedades elásticas y plásticas de la preforma así como dado el caso de la herramienta de laminación. Para la simulación de las propiedades elásticas o plásticas de la preforma se recurre por ejemplo a modelos de la mecánica de continuo en conexión con una solución discreta por ejemplo mediante métodos de volúmenes finitos o elementos finitos.

En una configuración preferida está previsto que una geometría de una herramienta de laminación se determine de forma iterativa teniendo en cuenta la sobremedida. Por ejemplo puede determinarse una sobremedida de un dentado evolvente de la herramienta de laminación. De manera correspondiente puede determinarse una sobremedida para un dentado diferente a un dentado evolvente.

En una configuración especialmente preferida está previsto que en una primera etapa se genere automáticamente mediante por lo menos una especificación de construcción una sobremedida localmente variada por lo menos en una zona de un flanco de un diente, que puede definirse por lo menos por puntos, de una preforma del elemento de dentado,, que en una segunda etapa se genere automáticamente una geometría de una herramienta de laminación, que en una tercera etapa se simule un proceso de laminación y un desarrollo local generado a este respecto de una compactación por lo menos de una película de laminación del elemento de dentado, y que en una cuarta etapa se compare una valoración automática del desarrollo generado de la compactación con una especificación y se repita dado el caso el procedimiento a partir de la primera etapa aplicando por lo menos una variación para su optimización hasta que se cumpla un criterio de cancelación. La variación se realiza a este respecto por ejemplo con ayuda de un procedimiento de optimización. Un criterio de cancelación es por ejemplo una tolerancia entre el desarrollo de densidad deseado y el desarrollo de densidad conseguido en la simulación. Además, un criterio de cancelación puede ser también la superación de un número de iteraciones que puede establecerse previamente.

Es especialmente conveniente que la especificación de construcción se elija del grupo densidad de material, geometría, par de giro y distribución de presión. El par de giro debe interpretarse a este respecto como el par de giro que se produce en la finalidad fin de uso según la utilización de un elemento de dentado.

En particular para evitar grietas de material es conveniente que una tensión de material se simule por lo menos en la zona de la compactación y en particular se recurra a ella para su valoración. Preferentemente se evita de este modo que aunque una superficie se endurezca suficientemente, sea quebradiza debido a tensiones y tienda a grietas por tensiones.

Además es ventajoso que para la variación se utilicen datos almacenados en una biblioteca de base de datos. En particular puede recurrirse a este respecto a procedimientos para la optimización y para un análisis de datos por ejemplo mediante redes neuronales. Además se utilizan características almacenadas en la base de datos por ejemplo para la optimización mediante un algoritmo genético.

En una configuración adicional por lo menos una de las etapas puede sustituirse por una especificación. Preferentemente se establece previamente de manera fija una geometría de herramienta de laminación. De este modo se tiene por ejemplo en cuenta el hecho de que es mucho más complicado modificar una herramienta de laminación que por ejemplo una preforma. Otra configuración prevé un modo de proceder inverso. Preferentemente partiendo de una forma final se calcula una preforma o la herramienta de laminación para fabricar la forma final igual que la herramienta de prensa para fabricar la preforma.

Además se da a conocer un producto de programa de ordenador con medios de código de programa que están almacenados en un medio legible por ordenador para realizar por lo menos uno de los procedimientos descritos arriba cuando el programa se ejecuta en un ordenador. Un medio legible por ordenador es por ejemplo un medio de almacenamiento magnético, magnetoóptico u óptico. Además se utiliza por ejemplo un chip de almacenamiento. Además un medio legible por ordenador puede estar realizado también mediante una memoria remota, por ejemplo mediante una red de ordenadores.

El programa de ordenador puede estar almacenado por ejemplo en una máquina para la compactación superficial. También puede realizarse un cálculo por separado de la máquina para la compactación superficial. Sin embargo, la máquina dispone de un control, en particular un control guiado por trayecto y/o fuerza, en el que pueden introducirse las coordenadas y los desarrollos de movimiento para compactar la preforma.

Según otro aspecto se prevé una forma de herramienta de prensado con la que puede prensarse una preforma de material sinterizado que a continuación se compacta por la superficie para obtener una forma final. Esta forma de herramienta de prensado se calcula de forma iterativa. Preferentemente se parte a este respecto también de datos de un contorno final de la pieza de trabajo con su dentado.

También puede estar previsto un banco de ensayos de laminación que ofrece la posibilidad de poder llevar a cabo laminaciones de prueba para las más diferentes compactaciones superficiales. A través de ello pueden determinarse en particular también datos que de forma evaluada pueden entrar los procedimientos de cálculo. Por ejemplo pueden formarse para ello valores característicos adecuados a partir de una pluralidad de mediciones. A través de ello pueden obtenerse por ejemplo valores iniciales para el cálculo iterativo de la preforma, la herramienta o la herramienta de prensado. El banco de ensayos de laminación puede presentar también una medición automática de piezas de trabajo compactadas por la superficie que presentan un dentado. A continuación se indican consideraciones adicionales que pueden realizarse de forma combinada con los aspectos propuestos anteriores.

Además se prevé un procedimiento para fabricar un dentado de material sinterizado compactado, compactándose una preforma de diente previamente compactada por lo menos en una zona mediante datos determinados de forma iterativa en por lo menos 0,05 mm en su superficie para obtener su forma final, y consiguiéndose una calidad de la forma final por lo menos en un intervalo de por lo menos $f_{Ha} = 4$, $F_{\alpha} = 7$ y $F_{\alpha} = 7$. A este respecto f_{Ha} significa la

desviación con respecto al dentado, F_{α} la desviación total y f_{α} la desviación de forma de perfil de los flancos. Los valores indicados corresponden a las clases de la norma DIN con respecto a la desviación.

Según un perfeccionamiento está previsto que una iteración tenga en cuenta parámetros relacionados con un comportamiento de material de trabajo en una compactación superficial de la forma de diente. Una configuración prevé que una iteración para determinar una preforma parte de datos introducidos que se deducen de una especificación de la forma final. Preferentemente se emplea por lo menos una herramienta de laminación que presenta la misma calidad que la forma final generada posteriormente. Mediante la determinación iterativa y de este modo el mecanizado extremadamente preciso en la compactación superficial se permite que la calidad de la herramienta pueda transmitirse a la preforma. La compactación superficial extremadamente precisa permite en particular que el dentado tras la compactación superficial presente esta calidad de la forma final sin una etapa de mecanizado posterior adicional que elimina material. Por ejemplo se fabrica una pieza de trabajo con el dentado con una densidad de núcleo de por lo menos $7,4 \text{ g/cm}^3$ con una densidad de superficie, que por lo menos en una zona de un flanco de diente es máxima, extendiéndose la densidad de superficie máxima en la zona con una profundidad de por lo menos $0,02 \mu\text{m}$.

Además se da a conocer un procedimiento para fabricar un dentado de material sinterizado compactado, compactándose una preforma de diente previamente compactada por lo menos en una zona mediante datos determinados de forma iterativa para obtener su forma final, y mejorándose una rugosidad en la zona con respecto a la preforma en por lo menos un 400%, ajustándose una dureza de superficie de por lo menos 130HB. Preferentemente se ajusta una densidad de núcleo de la forma final que presente por lo menos una densidad de $7,3 \text{ g/cm}^3$, y se aplica una dureza de superficie que presenta un desarrollo convexo desde la superficie hacia un centro de la forma final.

El dentado de material previamente compactado presenta en una primera zona compactada por la superficie una rugosidad que es por lo menos un 400% menor que una rugosidad en una segunda zona que está menos compactada por la superficie o no lo está. La rugosidad R_z asciende por ejemplo en la primera zona a menos de $1 \mu\text{m}$. Una configuración adicional prevé que exista una dureza de superficie de por lo menos 700 HV [0,3] en la superficie de la forma final, existiendo a la vez a una profundidad de $0,4 \text{ mm}$ desde la superficie por lo menos una dureza de 500 HV [0,3]. Otra configuración presenta una dureza de superficie de por lo menos 700 HV [0,3] en la superficie de un flanco de diente y en una base de diente, existiendo una dureza de por lo menos 500 HV [0,3] a una profundidad de $0,6 \text{ mm}$ desde la superficie en la base de diente y una dureza de por lo menos 500 HV [0,3] a una profundidad de $0,8 \text{ mm}$ desde la superficie en el flanco de diente. Mediante la fabricación de la compactación superficial se permite poder ajustar de manera controlada compactaciones así como endurecimientos precisos según especificaciones deseadas.

Según otra consideración de la invención según la reivindicación 6 se propone un procedimiento de cálculo para diseñar una preforma de un dentado de material sinterizado, incluyéndose datos en el procedimiento de cálculo que se determinan a partir de una forma final del dentado previamente establecida, determinándose en función de por lo menos una condición de uso de la forma final uno o varios parámetros de solicitud del dentado, calculándose una sobremedida local de la preforma, que está correlacionada con una compactación esperada de la preforma en la superficie, incluyéndose en el cálculo una solicitud del material sinterizado por debajo de la superficie.

Preferentemente el cálculo se basa además una penetración de la herramienta en la pieza de trabajo que va a fabricarse, pudiendo tenerse en cuenta en particular el comportamiento del material sinterizado en la penetración y tras la penetración. Por ejemplo el procedimiento de cálculo prevé que se tenga en cuenta una deformación elástica del material sinterizado que va a compactarse. El procedimiento de cálculo puede prever también que se tenga en cuenta una deformación elástica plástica del material sinterizado que va a compactarse en la superficie. Preferentemente se incluye en el procedimiento de cálculo una profundidad de una solicitud máxima por debajo de la superficie por ejemplo en caso de un uso de la pieza de trabajo como rueda dentada que transmite fuerza. Además el procedimiento de cálculo puede incluir en el cálculo una contracción del material sinterizado en la sinterización. También pueden incluirse en el cálculo datos determinados de forma empírica.

Además se da a conocer un procedimiento de cálculo para diseñar una herramienta para la compactación superficial de una preforma de un dentado en particular de material sinterizado compactado para generar una geometría de diente previamente establecida, incluyéndose de forma iterativa datos determinados de la geometría de diente previamente establecida que va a fabricarse para calcular cinemáticas de máquina de herramienta teniendo en cuenta ejes de máquina asociados entre sí de una pieza de trabajo a partir de la que se conforma la herramienta que va a fabricarse, y por lo menos de un elemento de conformación de herramienta, sus coordenadas de sistema acopladas y su movimiento entre sí. De este modo existe ahora la posibilidad de, en lugar de a través de intentos repetidos, resultados de medición y adaptaciones del elemento de conformación de pieza de trabajo, encontrar finalmente una forma definitiva, realizar esto mediante un cálculo iterativo. Esto ahorra en esencia más tiempo y permite tener en cuenta los parámetros de influencia más diversos. En particular se permite también una simulación del diseño, de modo que por ejemplo se vuelve comprobable un modo de actuar de la herramienta que va a fabricarse sobre una preforma diseñada en la simulación.

Según una configuración se incluyen en el procedimiento de cálculo condiciones de contacto entre la pieza de trabajo que va a fabricarse y el elemento de conformación de herramienta entre una punta y un pie del dentado. Preferentemente a este respecto en el cálculo se incluye también en la zona de un pie del dentado una tensión máxima en la superficie. Además existe la posibilidad de que se incluya en el cálculo en la zona de un flanco del dentado una tensión máxima por debajo de la superficie. Este procedimiento es adecuado en particular para materiales sinterizados, pero también para piezas de trabajo de acero o piezas de trabajo de otros materiales de trabajo.

Además se da a conocer una herramienta de forma de prensado con una geometría de prensa para fabricar una preforma de un dentado de material sinterizado, presentando la geometría de prensa un desarrollo adaptado a una compactación superficial del dentado con por lo menos una elevación, que por lo menos en la zona del dentado de la preforma genera una depresión que puede rellenarse con material sinterizado en la compactación superficial.

Preferentemente la elevación en un lado frontal de la preforma provoca una depresión en la zona de una cabeza de un diente del dentado. Por ejemplo mediante cálculo iterativo puede determinarse la altura de la elevación o la profundidad de la depresión igual que otras medidas de ello. Una configuración adicional prevé en lugar de una elevación en un solo lado que esté prevista una elevación en dos lados para provocar en ambos lados frontales del diente en cada caso una depresión. Según un perfeccionamiento la elevación está dispuesta en una zona de la geometría que provoca sobre una cabeza de diente de la preforma una depresión, teniendo la elevación una dimensión de modo que la depresión conformada por lo menos disminuye por lo menos en parte un crecimiento de la cabeza de diente debido al mecanizado de la preforma al interior de la forma final mediante la compactación superficial. De este modo puede calcularse y en particular fabricarse por ejemplo una preforma con por lo menos una depresión en un lado frontal de un dentado para compensar una expulsión de material en una compactación superficial de una superficie de rodadura del dentado. También puede calcularse y en particular fabricarse de este modo una preforma con por lo menos una depresión en una cabeza de diente de un dentado para por lo menos disminuir un crecimiento de la cabeza de diente en altura en una compactación superficial por lo menos de los flancos del dentado. El procedimiento de cálculo para determinar una geometría de una preforma o de una herramienta de forma de prensado prevé preferentemente que se determine la geometría partiendo de datos de una forma final de la preforma y por lo menos se calcula una depresión o elevación que en parte provoca una compensación de un desplazamiento de material en la compactación superficial.

Además se propone un procedimiento para la compactación superficial de un dentado, calculándose de forma iterativa un número de un movimiento de compactación que va a repetirse de una herramienta de conformación para la compactación superficial de una superficie en la preforma. Preferentemente se calcula de forma iterativa una rodadura hasta alcanzar una densidad de superficie previamente establecida. Un perfeccionamiento prevé que se calcule de forma iterativa un avance de la herramienta de conformación. Según una configuración se realiza menos de 20 veces una rodadura de la preforma para conseguir la geometría previamente establecida de una forma final de la compactación superficial. Preferentemente se realiza menos de 10 veces la rodadura. En particular se realiza menos de 6 veces una rodadura de la preforma hasta que se alcanza una geometría previamente establecida de la forma final de la compactación superficial. A este respecto debe tenerse en cuenta que al alcanzar la misma aún no tiene lugar una finalización de la compactación superficial. Más bien a continuación aún sigue pasándose la herramienta varias veces, en particular menos de 25 veces, preferentemente menos de 15 veces, sobre la superficie. De este modo se garantiza una precisión del aspecto de la superficie.

Además se propone un procedimiento en el que se realiza una rodadura reversible en un dentado de material sinterizado para compactar la preforma para obtener la forma final de una compactación superficial. Preferentemente se realiza antes de invertir el sentido un breve descarga de la preforma mediante la herramienta de conformación. Ha resultado que mediante la inversión de marcha, es decir, mediante la inversión del movimiento puede crearse una compactación homogeneizada. Además se consiguió minimizar aún más los problemas en la fabricación reduciendo la presión de la herramienta sobre la pieza de trabajo antes de efectuar la inversión de movimiento. A este respecto la herramienta puede seguir en contacto con la pieza de trabajo. Sin embargo, también puede retirarse brevemente de la superficie.

Además se propone una compactación superficial de una pieza de trabajo con por lo menos un dentado de material sinterizado, estando una primera superficie de la pieza de trabajo compactada con un procedimiento diferente al de una segunda superficie de la pieza de trabajo. Preferentemente un primer dentado de la pieza de trabajo presenta una compactación diferente a la de un segundo dentado de la pieza de trabajo. Un perfeccionamiento prevé que un dentado interior de la pieza de trabajo se someta a una compactación superficial diferente de la del dentado exterior de la pieza de trabajo. También existe la posibilidad de que un dentado exterior esté compactado por la superficie mediante un procedimiento de laminación, mientras que una segunda superficie es una perforación que está compactada por la superficie con un procedimiento diferente. Preferentemente una perforación en la pieza de trabajo obtiene tras una compactación superficial una superficie endurecida y se mecaniza a continuación para obtener una forma final. Esto permite usar la perforación para un árbol o un eje. Una mejora de la precisión puede conseguirse al realizar tras un endurecimiento del dentado una compactación superficial.

Además se da a conocer un árbol con por lo menos un primer y con un segundo dentado, estando rodado y compactado por la superficie el primer dentado de material sinterizado. A continuación se indican características con respecto al árbol o los dentados. A este respecto puede usarse para configuraciones adicionales en particular también la descripción adicional con respecto al dentado, a los materiales, a las etapas de fabricación, etc.

Según una configuración el árbol presenta un segundo dentado que está fabricado según un procedimiento diferente al del primer dentado. Esto permite una pluralidad de combinaciones que prevé para cada caso de solicitud diferentes soluciones de material. Según otra configuración el segundo dentado forma con el primer dentado una pieza de trabajo. Por ejemplo ambos dentados pueden haber sido fabricados juntos en una máquina de prensado. Preferentemente el primero y el segundo dentado han sido calculados de forma iterativa y fabricados de manera correspondiente. Según una configuración la fabricación puede realizarse de forma sucesiva, aunque según otra configuración también de forma simultánea. Esto es válido en particular también para etapas de mecanizado adicionales tal como por ejemplo una compactación superficial.

Un perfeccionamiento prevé que el segundo dentado presente una superficie endurecida sin compactación superficial. Para algunos casos de solicitud la densidad conseguida mediante la sinterización o la resistencia del material utilizado son suficientes. Esto es válido por ejemplo para aplicaciones de bomba.

Además ha resultado ser ventajoso que por lo menos el primer dentado presente por lo menos en un diente en cada caso diferentes inclinaciones de flanco a la misma altura del diente. Esto es ventajoso en aplicaciones en las que se establece previamente un sentido de giro principal y en particular sólo un sentido de giro del árbol. Las diferentes inclinaciones de flanco pueden diseñarse de este modo de forma que reducen el desgaste y ruidos.

Otra configuración prevé que el segundo dentado esté forjado. Adicionalmente puede estar compactado por la superficie. Este dentado puede absorber por ejemplo una mayor transmisión de fuerza que el primer dentado.

Preferentemente el segundo dentado es de un material diferente que el primer dentado. Por ejemplo el segundo dentado es de acero. Sin embargo, el segundo dentado puede estar compuesto de un material sinterizado diferente al del primer dentado.

Adicionalmente el árbol también puede ser de material sinterizado. Por ejemplo puede presentar el mismo material que el primer dentado. El árbol puede formarse también por lo menos junto con el primer dentado, es decir, pensarse a partir de material de polvo, preferentemente en una forma de prensado común.

Un procedimiento a modo de ejemplo para fabricar el árbol descrito arriba puede prever también que por lo menos el primer dentado contenga una compactación superficial y una perforación para alojar el árbol se compacte por la superficie, se endurezca y a continuación se bruña, antes de que el árbol y el primer dentado se unan entre sí. Para ello se realiza preferentemente un cálculo iterativo de una preforma del primer dentado partiendo de una forma final del árbol con el primer dentado.

Aplicaciones preferidas para un árbol de este tipo se obtienen en la técnica de automoción al igual que en la construcción de engranajes así como en aparatos electrodomésticos.

Además se usa una preforma para fabricar un dentado de material sinterizado, presentando la preforma una sobremedida negativa. Preferentemente la sobremedida negativa está dispuesta por lo menos en un flanco de un diente del dentado. En particular la sobremedida negativa puede discurrir de forma asimétrica a lo largo del flanco.

Un perfeccionamiento prevé que en cada flanco de un diente esté prevista una sobremedida negativa. Por ejemplo un diente a la misma altura presenta una primera sobremedida negativa en un primer flanco y una segunda sobremedida en un segundo flanco, discurriendo el primer flanco y el segundo flanco de forma asimétrica entre sí.

Preferentemente la sobremedida negativa está dispuesta entre una zona de cabeza del diente y una sobremedida en un flanco del diente. De forma adicional o alternativa la sobremedida negativa puede estar dispuesta en una zona de esquina del pie de diente. Además existe la posibilidad de que las inclinaciones de los flancos de un diente sean distintas.

Además de un dentado exterior u otro tipo de dentado se realiza una compactación superficial también en un dentado que es un dentado interior. La preforma se convierte finalmente en una rueda dentada compactada por la superficie.

Un perfeccionamiento prevé un procedimiento para fabricar un dentado de un material sinterizado, asignándose a una preforma por lo menos una sobremedida negativa determinada mediante cálculo iterativo, que en una compactación superficial del dentado se rellena por lo menos en parte mediante el desplazamiento del material sinterizado. Preferentemente se desplaza un material de sobremedida adyacente a la sobremedida negativa al interior de la sobremedida negativa. La preforma puede compactarse por la superficie para obtener la forma final buscada, realizándose opcionalmente un endurecimiento y/o un mecanizado fino de superficie. Esto puede

realizarse antes o después de la compactación superficial. Como mecanizado fino entra en consideración un bruñido al igual que un pulido.

5 Preferentemente se realiza el diseño de la sobremedida negativa a través de un cálculo iterativo en el que una simulación de la compactación superficial en la preforma determina si la sobremedida adyacente está configurada de tal manera en cuanto a su diseño que la sobremedida negativa puede alisarse hacia el contorno final buscado. Para ello se pone a disposición la máquina para calcular y/o para realizar una compactación superficial de un dentado, pudiendo introducirse una cinemática calculada, mediante la cuál puede alisarse una sobremedida negativa en un flanco del dentado hacia un contorno final buscado a través de la compactación final.

10 Además se da a conocer un procedimiento para producir una compactación superficial en un dentado, sometiéndose por lo menos dos preformas al mismo tiempo una compactación superficial en un dispositivo.

15 Según una configuración las preformas se disponen en árboles dispuestos en paralelo y se engranan al mismo tiempo con por lo menos una herramienta para la compactación superficial.

Según una segunda configuración se disponen por lo menos dos preformas en un árbol común y se engranan de forma conjunta con por lo menos una herramienta para la compactación superficial.

20 Además se propone un dispositivo para producir una compactación superficial en un dentado, pudiendo sujetarse y pudiendo mecanizarse al mismo tiempo por lo menos dos preformas para la compactación superficial en el dispositivo.

25 Por ejemplo está previsto que esté previsto un movimiento de por lo menos un árbol en el que ambas preformas se engranan con una herramienta para la compactación superficial. Un perfeccionamiento prevé que por lo menos tres árboles para por lo menos dos preformas y por lo menos una herramienta estén dispuestos en paralelo entre sí y formen un triángulo, pudiendo moverse por lo menos uno de los árboles hacia los otros dos árboles. Otra configuración prevé que por lo menos dos preformas puedan colocarse en un árbol común, presentando la herramienta una longitud mayor que una longitud sumada de por lo menos ambas preformas. Preferentemente las preformas pueden estar en contacto con sus superficies frontales. Otra configuración prevé que entre las preformas esté dispuesta una separación, sobresaliendo hacia fuera la herramienta a lo largo del árbol a través de de ambas superficies frontales exteriores de las preformas.

35 Además se da a conocer un componente con un dentado compactado por la superficie de material sinterizado, presentando el componente, visto en una sección transversal, un gradiente con respecto a materiales sinterizados utilizados.

40 Preferentemente el componente presenta un gradiente que presenta una función en escalón. Los materiales sinterizados están dotados por lo menos en esta zona de un límite de transición. Según una configuración este límite de transición existe a lo largo de toda la superficie entre el primer y el segundo material sinterizado. Otra configuración prevé que en una zona no exista ningún límite fijo sino una transición gradual. En particular puede estar previsto que el componente presente diferentes materiales sinterizados que se extienden uno hacia el interior de otro sin presentar una zona de mezclado aplicada con un gradiente creciente o decreciente.

45 Un primer perfeccionamiento del componente incluye que el material sinterizado del dentado presente una menor densidad de núcleo que el material sinterizado de una zona del componente que sigue al dentado. Un segundo perfeccionamiento del componente prevé que el material sinterizado del dentado presente una densidad de núcleo mayor que el material sinterizado de una zona del componente que sigue al dentado.

50 Otra configuración presenta un componente que tiene un primer dentado con un primer material sinterizado y un segundo dentado con un segundo material sinterizado.

Preferentemente un dentado presenta diferentes ángulos de flanco en un diente a la misma altura.

55 Por ejemplo un primer material sinterizado puede estar dispuesto en una zona exterior del componente y formar el dentado, y un segundo material sinterizado está dispuesto en una zona interior del componente y forma una perforación.

60 Además se propone un procedimiento para fabricar un dentado compactado por la superficie en un componente, introduciéndose un primer material sinterizado en una forma antes de que se añada un segundo material sinterizado, realizándose a continuación un prensado y una sinterización, y compactándose mediante una compactación superficial del dentado sólo uno de los dos materiales sinterizados, mientras que el otro material sinterizado no experimenta ninguna modificación.

65 Un perfeccionamiento prevé que se realice una segunda compactación superficial que sólo afecta al material sinterizado que aún no se ha compactado por la superficie. Preferentemente está previsto que el primer materia

sinterizado forme por lo menos una superficie de los flancos de dentado y el segundo material forme un relleno inferior del dentado.

5 Un perfeccionamiento de un procedimiento para fabricar un dentado compactado por la superficie en un elemento prevé introducir un primer material sinterizado en una forma antes de que se añada un segundo material sinterizado, realizar a continuación un prensado y una sinterización, y compactar mediante una compactación superficial del dentado el primer y el segundo material sinterizado.

10 Para realizar los procedimientos ha demostrado ser ventajoso que se determine de forma iterativa un desarrollo de movimiento para la compactación superficial teniendo en cuenta un comportamiento de material de por lo menos uno de los dos materiales sinterizados.

15 Un perfeccionamiento para ambos procedimientos prevé que entre la forma, en particular una forma de prensado, y un material sinterizado que va a introducirse actúe un giro relativo, de modo que el material sinterizado en función de una velocidad del giro relativo se acumule en una zona exterior de la forma.

Por lo demás puede estar previsto también que el primero y por lo menos el segundo material sinterizado se añadan de forma que se solapen a la forma por lo menos a lo largo de un periodo de tiempo.

20 Además se hace referencia a la patente US nº 5.903.815. De éste se deducen diferentes materiales sinterizados, condiciones para materiales sinterizados, formas, principios con respecto al procesamiento de dos o más materiales sinterizados, aplicaciones y etapas de procedimiento.

25 Según un perfeccionamiento se propone que en particular en caso de una rueda dentada forjada, rueda de cadena o corona dentada se prevea en el procedimiento de fabricación además de la etapa de compactación superficial del dentado también un pulido o bruñido de los flancos de diente compactados y/o pies de diente. Preferentemente mediante el forjado se consigue una densidad de por lo menos $7,6 \text{ g/cm}^3$. La compactación superficial puede provocar por tanto una compactación total y/o también una precisión del diseño del dentado. Un perfeccionamiento prevé que para una etapa de mecanizado con eliminación de material tras la compactación superficial una sobremedida para esta etapa se sitúe en un intervalo de $4 \text{ }\mu\text{m}$ a $8 \text{ }\mu\text{m}$ de material por encima de la medida final. Si en lugar de un forjado se realiza un prensado, una sinterización y un endurecimiento, en particular una cementación, entonces se proporciona para un bruñido preferentemente una sobremedida de $30 \text{ }\mu\text{m}$ a $50 \text{ }\mu\text{m}$ y para un pulido de $50 \text{ }\mu\text{m}$ a $0,3 \text{ mm}$, preferentemente de $0,1 \text{ mm}$ a $0,2 \text{ mm}$ tras la compactación superficial. Mediante el cálculo iterativo se permite poder determinar de antemano las zonas y sobremedidas y también implementarlas de este modo posteriormente en el procedimiento. Para una perforación en la rueda dentada, la rueda de cadena o la corona dentada se prevé preferentemente también una compactación superficial, seguida por un endurecimiento y a continuación preferentemente un bruñido. Para ello la perforación puede disponer también tras la compactación superficial aún de una sobremedida de entre $30 \text{ }\mu\text{m}$ y $50 \text{ }\mu\text{m}$.

40 Otra ventaja ha resultado cuando se realiza una lubricación en la compactación superficial. Además del uso de emulsiones puede lubricarse en particular también con aceites. Esto se prefiere en una laminación en caliente, por ejemplo a temperaturas superiores a $220 \text{ }^\circ\text{C}$. Además se propone realizar la laminación en caliente a una temperatura entre $500 \text{ }^\circ\text{C}$ y $600 \text{ }^\circ\text{C}$, usándose preferentemente un enfriamiento con aceite para por un lado lubricar y por otro lado también enfriar la herramienta.

45 A continuación se explica la invención a modo de ejemplo en detalle mediante el dibujo. Sin embargo, estas configuraciones representadas no deben interpretarse como restrictivas para el alcance y con respecto a detalles de la invención. Más bien las características que resultan de las figuras no están limitadas a las configuraciones individuales en cada caso. Más bien estas características pueden combinarse en cada caso con otras características indicadas en el dibujo o/y en la descripción incluyendo la descripción de figuras para obtener en cada caso perfeccionamientos no representados en más detalle.

Muestran

55 la figura 1, una disposición de laminación,
la figura 2, un primer diente,
la figura 3, un segundo diente,
60 la figura 4, un tercer diente,
las figura 5 a 7, diferentes desarrollos de sobremedidas de diferentes elementos de dentado,
65 la figura 8, un primer esquema de procedimiento,

- la figura 9, un segundo esquema de procedimiento,
- la figura 10, un desarrollo de sobremedida de un elemento de dentado de una herramienta de laminación,
- 5 la figura 11, una vista esquemática de una depresión calculada en un lado frontal,
- la figura 12, una vista esquemática de casos extremos calculados de herramientas,
- 10 la figura 13, una vista esquemática de un modo de proceder en el cálculo iterativo y conexiones en una simulación,
- la figura 14, una vista de desarrollos de densidad en función de diferentes densidades de partida de las preformas utilizadas,
- 15 la figura 15, un resumen de los errores determinados que se producen en diferentes etapas de compactación superficial y que participan en la caracterización del comportamiento de material,
- la figura 16, un desarrollo de dureza en HV en un flanco de un dentado en diferentes etapas de compactación superficial,
- 20 la figura 17, un desarrollo de dureza en HV en una zona de pie de un dentado en diferentes etapas de compactación superficial,
- la figura 18, una vista esquemática de diferentes desarrollos de sobremedida calculados para diferentes densidades,
- 25 la figura 19, una representación esquemática de parámetros que pueden incluirse en un cálculo iterativo.
- 30 La figura 1 muestra una disposición de laminación a modo de ejemplo en una vista esquemática. Una primera herramienta de laminación 101 con un primer dentado 102 está montada de forma giratoria alrededor de un primer eje 103 en un sentido de rotación 104. El primer dentado 102 está engranado con un segundo dentado 105 de una preforma 106. La preforma 106 está montada de forma giratoria alrededor de un segundo eje 107. De manera correspondiente resulta un segundo sentido de rotación 108. Además el segundo dentado 105 está engranado con un tercer dentado 109 de una segunda herramienta de laminación 110. Esta segunda herramienta de laminación 110 está montada de forma giratoria alrededor de un tercer eje 111 en un tercer sentido de rotación 112. Por ejemplo el primer eje 103 o el segundo eje 107 pueden ser ejes fijos, mientras que los otros dos ejes pueden realizar un movimiento de aproximación. Por ejemplo el tercer eje 111 puede desplazarse en una dirección de desplazamiento 113 a lo largo de una línea de conexión 114 de los ejes primero 103, segundo 107 y tercero 111. Por ejemplo puede llevarse a cabo un ciclo de laminación a medida. A este respecto se compactan en particular flancos de diente sólo de manera reducida y en particular no se compactan las bases de diente. A este respecto se produce una compactación superficial en una zona deseada. En una compactación superficial, por otro lado, también puede compactarse sólo o también adicionalmente la base de diente en su superficie. Por ejemplo para ello durante una operación de laminación tiene lugar un desplazamiento continuo en la dirección de la dirección de desplazamiento 113. En particular mediante las herramientas de laminación primera 101 y segunda 110 también se compacta una zona de los pies de diente de la preforma 106. Para desplazar la primera y/o la segunda herramienta de laminación 110 así como para la aplicación de una presión necesaria para una operación de laminación está previsto un dispositivo de desplazamiento no representado preferentemente con un engranaje. De este modo pueden aplicarse en particular también presiones muy elevadas.
- 50 La figura 2 muestra un primer diente 201 de un elemento de dentado asociado no representado. En el caso de este elemento de dentado se trata de una rueda dentada. Una geometría del elemento de dentado o del primer diente 201 está caracterizada a este respecto por un primer círculo de pie 202, un primer círculo de uso de pie 203, un primer círculo de laminación 204 y un primer círculo de cabeza 205. En un primer flanco 206 el primer diente 201 presenta antes de una operación de laminación un primer desarrollo de sobremedida 207. Tras una operación de laminación finalizada resulta un primer desarrollo de medida final 208, resultando de manera correspondiente una primera película 209 de laminación compactada. A modo de representación esquemática ésta está delimitada por una primera línea de frontera de compactación 210. Esta línea delimita la zona del primer diente 201 dentro de la que se alcanza la densidad total. La densidad total se refiere a este respecto preferentemente a una densidad de un diente comparable sometido a forjado de polvo.
- 60 La figura 3 muestra un segundo diente 301 de un elemento de dentado no representado. En el caso de este elemento de dentado se trata también de una rueda dentada. El segundo diente 301 y la rueda dentada están caracterizados por un segundo círculo de cabeza 302, un segundo círculo de laminación 303, un segundo círculo de uso de pie 304 y un segundo círculo de pie 305. Para conseguir un desarrollo de compactación idéntico en un segundo flanco 306 y en un tercer flanco 307 está previsto un segundo desarrollo de sobremedida 308 y un tercer
- 65

desarrollo de sobremedida 309. Tras una operación de laminación resulta en el segundo flanco 306 un segundo desarrollo de medida final 310 y en el tercer flanco 307 un tercer desarrollo de medida final 311. Además resulta una segunda línea de frontera de compactación 312 y una tercera línea de frontera de compactación 313. Debido a las diferentes fuerzas por el movimiento de laminación en un sentido de rotación en el segundo flanco 306 y el tercer flanco 307 el segundo desarrollo de sobremedida 308 y el tercer desarrollo de sobremedida 309 tienen una configuración diferente. La acción diferente de las fuerzas en los flancos de diente 306, 307 en una operación de laminación se aclara por las direcciones de velocidad de deslizamiento representadas. En el segundo flanco 306 resultan unas direcciones de velocidad de deslizamiento primera 314 y segunda 315. Partiendo del segundo círculo de laminación 303 éstas se dirigen en la dirección hacia el segundo círculo de cabeza 302 o en la dirección hacia el segundo círculo de pie 305. En cambio, en el tercer flanco 307 resulta una tercera dirección de velocidad de deslizamiento 316 y una cuarta dirección de velocidad de deslizamiento 317 que están dirigidas de manera opuesta entre sí.

La figura 4 muestra un tercer diente 401 de un elemento de dentado no representado. En el caso de este elemento de dentado se trata también de una rueda dentada. La rueda dentada y el tercer diente 401 están caracterizados a su vez por un tercer círculo de cabeza 402, un círculo de uso de cabeza 403, un tercer círculo de laminación 404, un tercer círculo de uso de pie 405 así como por un tercer círculo de pie 406. En el caso del tercer diente 401 mostrado se trata de un dentado con un destalonado de cabeza, preferentemente en forma de un redondeado de cabeza. Sin embargo, también son posibles otras geometrías en esta zona. A este respecto en una zona 401.1 de cabeza de diente entre el tercer círculo de cabeza 402 y el círculo de uso de cabeza 403 se ha destalonado un perfil de diente. Esto lleva a que en esta zona el diente no se engrane con un dentado complementario evolvente. En este caso una zona de diente activa se sitúa sólo en la zona entre el círculo de uso de cabeza 403 y el círculo de uso de pie 405 o entre el círculo de uso de cabeza 403 y el tercer círculo de pie 406. Un cuarto desarrollo de sobremedida 407 resulta tras una operación de laminación en una cuarta línea de frontera de compactación 408. Además en el cuarto flanco 409 se consigue un cuarto desarrollo de medida final 410.

La figura 5 muestra un desarrollo de sobremedida entre dos dientes adyacentes de un elemento de dentado no representado. En el caso de este elemento de dentado se trata a su vez de una rueda dentada. La rueda dentada y los dientes están caracterizados por un cuarto círculo de pie 502, un cuarto círculo de pie de uso 503 de la preforma, un quinto círculo de pie de uso 504 de la preforma tras una operación de pulido, un cuarto círculo de cabeza 505 tras una operación de fresado y un quinto círculo de cabeza 506 tras una operación de acabado. Tras una operación de laminado resulta un quinto desarrollo de medida final 507. En el eje de abscisas está indicada una medida lateral en milímetros. En el eje de ordenadas se indica también en milímetros la medida lateral orientada en perpendicular de manera correspondiente a esto. El dentado discurre a este respecto completamente en el plano del dibujo.

La figura 6 muestra una agrupación de desarrollos de sobremedida adicionales. En el eje de abscisas esté representada la longitud de base estandarizada a lo largo de una línea de flanco de un elemento de dentado. Esta línea de arco se refiere a este respecto en cada caso a un desarrollo desde una cabeza de diente de un primer diente hasta una cabeza de diente de un diente adyacente. En el eje de abscisas superior está representada de manera correspondiente la longitud de arco absoluta de la línea de flanco correspondiente en milímetros. El eje de ordenadas izquierdo indica una sobremedida en milímetros. El eje de ordenadas derecho describe el radio correspondiente del dentado asociado. Se representan un sexto desarrollo de sobremedida 601, un séptimo desarrollo de sobremedida 602 y un octavo desarrollo de sobremedida 603. Además se representa un radio 604 asociado del dentado correspondiente. El sexto desarrollo de sobremedida 601 y el octavo desarrollo de sobremedida 603 están realizados a este respecto de forma simétrica con respecto a una línea de simetría de base de diente 605. En cambio, el séptimo desarrollo de sobremedida 602 está configurado de forma asimétrica. En la proximidad de la línea de base de simetría de diente 605, esto es, en la zona de base de diente, las medidas presentan en cada caso un mínimo local. De este modo se favorece una disminución de un riesgo de grietas por tensiones.

La figura 7 muestra un desarrollo de sobremedida adicional. Se muestra un noveno desarrollo de sobremedida que discurre de forma asimétrica desde una cabeza de diente 702 izquierda hasta una cabeza de diente 703 derecha. Tal como ya se mostró en la figura 6, en este caso una sobremedida en la zona de una base 704 de diente también es menor que en la zona de los flancos quinto 705 y sexto 706. Esto sirve en particular para evitar grietas por tensiones.

La figura 8 muestra un primer esquema de procedimiento. Partiendo de una especificación 801 objetivo que comprende la geometría, un par de giro que va a transmitirse de una rueda dentada y una distribución de presión, con un primer módulo de generación de geometría 802 se genera una geometría de una herramienta de laminación. Además tanto mediante la especificación 801 objetivo como mediante la geometría de la herramienta de laminación se genera una geometría de una preforma en un segundo módulo de generación de geometría 803. En un primer módulo de simulación 804 se simula una operación de laminación. A este respecto se simula tanto una cinemática de la operación de laminación como la operación de compactación que se provoca en la operación de laminación. A este respecto se tiene en cuenta en particular una redistribución de material, tal como se representa esbozado por ejemplo en la figura 3. La simulación de una deformación plástica se realiza a este respecto por ejemplo mediante un procedimiento de elementos finitos. Esto puede acoplarse con un programa CAD. Opcionalmente puede tenerse

en cuenta un segundo módulo de simulación 805 para simular una tensión. En este módulo se incluyen por un lado tanto la especificación 801 objetivo como la geometría de la preforma. Por otro lado el segundo módulo de simulación 805 permite además una corrección de la geometría determinada de la preforma. En particular el primer módulo de generación de geometría 802, el segundo módulo de generación de geometría 803, el primer módulo de simulación 804 y dado el caso el segundo módulo de simulación 805 pueden realizarse de forma repetida en un bucle de optimización.

La figura 9 muestra un segundo esquema de procedimiento. En una primera etapa 901 se genera un noveno desarrollo de sobremedida 902 de un perfil de diente 903. A continuación en una segunda etapa 904 se genera un segundo perfil de diente 905 de una tercera herramienta de laminación 906. A continuación en una tercera etapa 907 se simula una operación de laminación. A este respecto se simula la operación de rodadura del primer perfil de diente 903 sobre el segundo perfil de diente de la herramienta de laminación 905 y la compactación que resulta de ello. A continuación se repiten dado el caso las etapas primera 901, segunda 904 y tercera 907 en una variación 908.

La figura 10 muestra un desarrollo de sobremedida de un elemento de dentado de una herramienta de laminación. Se representa un décimo desarrollo de sobremedida 1001 de un quinto diente 1002 de una herramienta de laminación no representada. En un séptimo flanco 1003 y un octavo flanco 1004 del quinto diente 1002 está prevista una sobremedida diferente. En el séptimo flanco 1003 está prevista una adición de material que se indica mediante una primera flecha 1005. En cambio, en el octavo flanco 1004 está previsto un destalonado de diente que se indica mediante la segunda flecha 1006. La sobremedida se refiere en este ejemplo a un perfil regular de un dentado evolvente. Mediante las configuraciones asimétricas de los dos flancos de diente 1003, 1004 se tiene en cuenta en particular una sollicitación de material asimétrica de un elemento de dentado que va a compactarse con ello. Mediante esta herramienta de laminación con respecto a la forma final de la pieza de trabajo también puede conseguirse un perfil simétrico de ambos flancos de un diente, para lo que se realizan compensaciones en el intervalo de preferentemente menor que 0,1 μm .

La figura 11 muestra una vista esquemática de una depresión calculada en un lado frontal de un dentado. La depresión sirve para por lo menos minimizar sino compensar un crecimiento del desplazamiento de material sinterizado conseguido mediante la compactación superficial y un crecimiento del diente en altura y/o en anchura relacionado. La forma de la depresión depende de la sobremedida y de las medidas del diente. La forma puede optimizarse de forma iterativa a través del procedimiento de cálculo. Una simulación permite una estimación del comportamiento real posterior de la preforma.

La figura 12 muestra una vista esquemática de casos extremos calculados de herramientas para la compactación superficial, que pueden calcularse. El punto de partida del cálculo es la geometría final izquierda del dentado. Teniendo en cuenta las condiciones de rodadura, parámetros de sobremedida y otros factores de influencia pueden determinarse de forma iterativa las formas de herramienta representadas en cada caso en el centro y a la izquierda.

La figura 13 es una vista esquemática de un modo de proceder en el cálculo iterativo y conexiones en una simulación. Partiendo de los datos finales previamente establecidos de la pieza de trabajo y de su dentado pueden modelarse las cinemáticas de la máquina. A este respecto se parte por ejemplo de los ejes de máquina asociados entre sí. A través de las cinemáticas y las conexiones funcionales mediante los grados de libertad existentes puede realizarse entonces una optimización de la herramienta que va a diseñarse. A este respecto se hace referencia de nuevo a la figura 12. Los ejemplos representados en la misma presentan respectivos inconvenientes, por ejemplo una región de pie demasiado débil en la representación central o una configuración de cabeza demasiado aguda en el caso de la representación a la derecha. A través de parámetros de influencia adicionales tales como por ejemplo consideraciones de resistencia y/o desarrollos de tensión en el material puede llevarse a cabo entonces una iteración hacia un contorno de la herramienta adecuado para el respectivo perfil de requisitos. Para la herramienta para fabricar la preforma se toma como punto de partida por ejemplo la geometría final determinada con las sobremedidas calculadas.

La figura 14 muestra una vista de desarrollos de densidad en función de diferentes densidades de partida de las preformas utilizadas. Si la densidad de la preforma se modifica en su núcleo igual que en su desarrollo hacia fuera se obtienen influencias con respecto al desarrollo de compactación superficial. Esto se deduce de la representación a la derecha de la figura 14. Mediante modificaciones de la respectiva preforma pueden influirse también mucho en el desarrollo de densidad tras una compactación superficial. Por tanto la densidad de núcleo de partida igual que el diseño de la preforma representan parámetros importantes en la iteración y el cálculo.

La figura 15 proporciona un resumen a modo de ejemplo de los errores determinados que se producen en diferentes etapas de compactación superficial y que participan en la caracterización del comportamiento de material. El error se indica en clases de error según la norma DIN 3972 o la norma DIN 3970.

Un aspecto importante en la determinación de una compactación superficial adecuada mediante rodadura es el cambio de perfil de la herramienta que rueda. Mediante la aplicación del procedimiento de cálculo anterior para la preforma y la herramienta de laminación es posible modificar la herramienta de laminación basándose en los

resultados determinados. Esto se representa en la figura 15 en una preforma con una densidad de núcleo de $7,3 \text{ g/cm}^3$ que estuvo engranada con un conjunto no modificado de herramientas de laminación y se compactó en su superficie. En función de un movimiento de avance de la herramienta de laminación cambia la geometría de la rueda dentada. El objetivo es conseguir el contorno final pretendido tal como se establece previamente. De las ilustraciones de la figura 15 pueden deducirse diferentes estados para movimientos de avance de diferente extensión. A modo de ejemplo a la izquierda se representa el error de ángulo de perfil, en el centro el error de forma de perfil completo y a la derecha el error de forma. Éstos se midieron en la rueda dentada fabricada en cada caso. Así, por ejemplo una reducción de grosor de diente de $0,27 \text{ mm}$ lleva a una desviación de ángulo de perfil de manera correspondiente a la clase 7 según la norma DIN. Sin embargo, para conseguir una forma final necesaria de la reducción de grosor de diente es necesario un avance de $0,4 \text{ mm}$. Sin embargo, esto lleva a un aumento de los respectivos errores. Esto significa que el contorno final fabricado llega a situarse en los otros valores fuera de las clases de calidad necesarias. Por tanto se vuelve necesaria una modificación de la geometría de la herramienta. Teniendo en cuenta los valores hallados como valores de entrada es posible entonces determinar una nueva herramienta, volver a realizar las pruebas y determinar de este modo de forma iterativa una geometría optimizada para la herramienta. Mediante el cálculo se hace posible por ejemplo determinar con dos iteraciones o también sólo una iteración un contorno definitivo para la herramienta.

La figura 16 muestra un desarrollo de dureza en HV en un flanco de un dentado indicado por la distancia desde la superficie en el eje x en [mm]. En diferentes etapas de compactación superficial mediante una elección de la sobremedida y un movimiento de avance adecuados puede influirse en el desarrollo de perfil de la dureza. Por ejemplo el desarrollo puede ser por lo menos en parte convexo o también cóncavo. Tal como se indica, la preforma denominada AVA7-1 ha presentado una sobremedida mayor que la preforma denominada AVA4-2. Ambas presentan un desarrollo opuesto de las durezas: mientras que en la primera parte hasta alcanzar 550 HV AVA7-1 presenta una forma más bien convexa, AVA4-2 presenta un desarrollo más bien cóncavo. Tras quedar por debajo de 550 HV esto cambia.

La figura 17 muestra un desarrollo de dureza en HV en una zona de pie de un dentado en diferentes etapas de compactación superficial. Debido a la sobremedida reducida en la misma en comparación con la sobremedida de flanco así como debido a la geometría se obtiene un desarrollo de dureza diferente. La dureza disminuye al principio de manera más brusca, aunque a continuación adopta aproximadamente un desarrollo recto con una inclinación ya sólo reducida.

La figura 18 muestra una vista esquemática de diferentes desarrollos de sobremedida calculados para diferentes densidades basándose en un grosor de diente final. En el eje y está indicado el diámetro. En el eje x está indicada la sobremedida. D_a o d_a indica el diámetro de círculo de uso de cabeza o el diámetro de círculo de cabeza, 0 es una especificación de una sobremedida por ejemplo mediante un valor en el círculo parcial, d_b es el diámetro de círculo de base. A indica el intervalo de valores preferidos para la zona de círculo de laminación. B representa un intervalo crítico, ya que en el mismo ya puede producirse un fallo de material de trabajo durante la laminación.

La figura 19 muestra una representación esquemática de parámetros que pueden incluirse en el cálculo iterativo. En particular estos pueden ser lugares de máxima sollicitación. Tal como se representa en la fotografía a la izquierda en el flanco pueden producirse daños por rotura de diente por exceso de presión y falta de lubricación. Por tanto se recurre preferentemente a un desarrollo de tensión de comparación en el que se aplica: una tensión máxima se produce por debajo de la superficie, en particular en la zona de un deslizamiento negativo, por tanto preferentemente por debajo del diámetro d_{w1} de círculo de laminación indicado. La fotografía a la derecha indica una rotura de diente debido a una carga por flexión elevada. De ello para el modelo de cálculo resulta que se determina y tiene en cuenta un lugar de la sollicitación máxima de pie de diente. Éste puede determinarse por ejemplo a través de la tangente de 30° según la norma DIN o a través de la parábola de Lewis según la norma AGMA. Para la tensión de comparación se supone preferentemente que se produce una tensión máxima en la superficie.

La figura 20 muestra en una vista esquemática otra posibilidad de cómo pueden compactarse por ejemplo al mismo tiempo por lo menos dos preformas. Según una configuración, además del movimiento de la herramienta también puede realizarse un movimiento de las preformas en la dirección hacia la herramienta. Además existe la posibilidad de que en un eje de preforma se dispongan dos o más preformas.

La invención puede emplearse por ejemplo en ruedas dentadas de árbol de leva, en ruedas dentadas de accionamiento, en ruedas dentadas de compensación, en ruedas dentadas de engranaje, en ruedas dentadas de embrague, en ruedas dentadas de bomba, en ruedas dentadas de dientes rectos, en ruedas dentadas de dientes oblicuos, en máquinas de combustión interna, en engranajes de ajuste, en dentados exteriores o interiores así como en engranajes rectos exteriores o interiores con dentado con dientes rectos u oblicuos. Otra configuración prevé que una rueda dentada sea de un material sinterizado. La otra puede ser por ejemplo de plástico o de otro material. Además existe la posibilidad de que por lo menos una de las dos ruedas dentadas presente un recubrimiento que en particular tenga un efecto que minimice los ruidos. En particular las piezas de trabajo con dentado pueden emplearse en la técnica de automoción, en la técnica de motores, en la técnica de engranajes, en dispositivos de ajuste y en dispositivos de transmisión de fuerza.

REIVINDICACIONES

1. Componente de vehículo automóvil que presenta por lo menos un dentado de material sinterizado, presentando el dentado una compactación superficial asimétrica de un primer flanco de diente en comparación con una compactación superficial a lo largo de un segundo flanco de diente del diente y/o en una base de diente en comparación a entre una zona izquierda del pie de diente y una zona derecha del pie de diente, que está adaptada a una solicitud del componente de vehículo automóvil, siendo una rueda dentada de bomba, que presenta una densidad de núcleo comprendida entre 6,8 y 7,2 g/cm³ y una dureza inferior a 200 HV en un flanco del dentado, presentando una compactación superficial máxima en el flanco una profundidad inferior a 0,1 mm y presentando una densidad superficial máxima inferior a 7,4 g/cm³, en particular inferior a 7,3 g/cm³, presentando la rueda dentada un módulo comprendido entre 2,5 mm y 4 mm, un diámetro exterior comprendido entre 25 mm y 60 mm, una anchura de diente comprendida entre 20 y 60 mm y una calidad según la norma DIN de la clase 7 u 8.
2. Componente de vehículo automóvil que presenta por lo menos un dentado de material sinterizado, presentando el dentado una compactación superficial asimétrica de un primer flanco de diente en comparación con una compactación superficial a lo largo de un segundo flanco de diente del diente y/o en una base de diente en comparación a entre una zona del pie de diente izquierda y una zona del pie de diente derecha, que está adaptada a una solicitud del componente de vehículo automóvil, siendo una rueda dentada de accionamiento hidráulico, que presenta una densidad de núcleo comprendida entre 6,8 y 7,2 g/cm³ y una dureza inferior a 400 HV tras una etapa de endurecimiento por sinterización o inferior a 200 HV tras una compactación superficial en un flanco del dentado, presentando una compactación superficial máxima una profundidad inferior a 0,12 mm en caso del endurecimiento por sinterización o una profundidad inferior a 0,5 mm en caso de una compactación superficial, presentando una densidad superficial máxima por lo menos una densidad de 7,65 g/cm³, en particular de por lo menos 7,75 g/cm³, presentando la rueda dentada un módulo comprendido entre 0,8 y 3,5 mm, un diámetro exterior comprendido entre 80 mm y 140 mm, una anchura de diente comprendida entre 4 mm y 11 mm y una calidad según la norma DIN de la clase 6 o 7, así como una base de diente que no está en absoluto compactada superficialmente o presenta una densidad superficial máxima, que llega preferentemente a una profundidad de 0,075 mm como máximo.
3. Componente de vehículo automóvil que presenta por lo menos un dentado de material sinterizado, presentando el dentado una compactación superficial asimétrica de un primer flanco de diente en comparación con una compactación superficial a lo largo de un segundo flanco de diente del diente y/o en una base de diente en comparación a entre una zona izquierda del pie de diente y una zona derecha del pie de diente, que está adaptada a una solicitud del componente de vehículo automóvil, siendo una rueda dentada de cadena, que presenta una densidad de núcleo comprendida entre 6,8 y 7,35 g/cm³ y una dureza inferior a 250 HV en un flanco superficialmente compactado del dentado, presentando una compactación superficial máxima una profundidad comprendida entre 0,3 mm y 0,7 mm, presentando una densidad superficial máxima por lo menos una densidad de 7,5 g/cm³, en particular de por lo menos 7,65 g/cm³, presentando la rueda dentada de cadena un módulo comprendido entre 1,2 y 3,5 mm, un diámetro exterior comprendido entre 50 mm y 140 mm, una anchura de diente comprendida entre 5 mm y 12 mm, una calidad según la norma DIN por lo menos de la clase 7 u 8, así como una base de diente que no está compactada superficialmente o presenta una densidad superficial máxima que llega preferentemente a una profundidad de 0,075 mm como máximo, siendo una dureza del flanco del dentado superior a 60 HRC por endurecimiento.
4. Componente de vehículo automóvil que presenta por lo menos un dentado de material sinterizado, presentando el dentado una compactación superficial asimétrica de un primer flanco de diente en comparación con una compactación superficial a lo largo de un segundo flanco de diente del diente y/o en una base de diente en comparación a entre una zona izquierda del pie de diente y una zona derecha del pie de diente, que está adaptada a una solicitud del componente de vehículo automóvil, siendo una rueda dentada de control, que presenta una densidad de núcleo comprendida entre 7,0 y 7,4 g/cm³ y una dureza inferior a 250 HV en un flanco superficialmente compactado del dentado, presentando una compactación superficial máxima una profundidad comprendida entre 0,3 mm y 0,7 mm, presentando una densidad superficial máxima por lo menos una densidad de 7,5 g/cm³, en particular de por lo menos 7,65 g/cm³, presentando la rueda dentada de control un módulo comprendido entre 1,2 mm y 3,5 mm, un diámetro exterior comprendido entre 50 mm y 140 mm, una anchura de diente comprendida entre 5 mm y 12 mm, una calidad según la norma DIN por lo menos de la clase 6 o 7, así como una base de diente que presenta una densidad superficial máxima que llega preferentemente a profundidad de por lo menos 0,03 mm, siendo una dureza del flanco del dentado superior a 60 HRC mediante endurecimiento y llevándose a cabo preferentemente un mecanizado superficial por lo menos de los flancos de dientes para conseguir un contorno final.
5. Componente de vehículo automóvil según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque por lo menos en un diente existen, en cada caso, diferentes inclinaciones de flanco a la misma altura del diente.
6. Procedimiento para diseñar una preforma de un dentado de un componente de vehículo automóvil según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que en un procedimiento de cálculo, se incluyen datos, que se determinan a partir de una forma final predeterminada del dentado, determinándose en función de por lo menos una condición de uso de la forma final uno o varios parámetros de solicitud del dentado, calculándose una sobremedida local de la preforma

que está correlacionada con una compactación asimétrica esperada de la preforma en la superficie, incluyéndose en el cálculo una sollicitación del material sinterizado por debajo de la superficie.

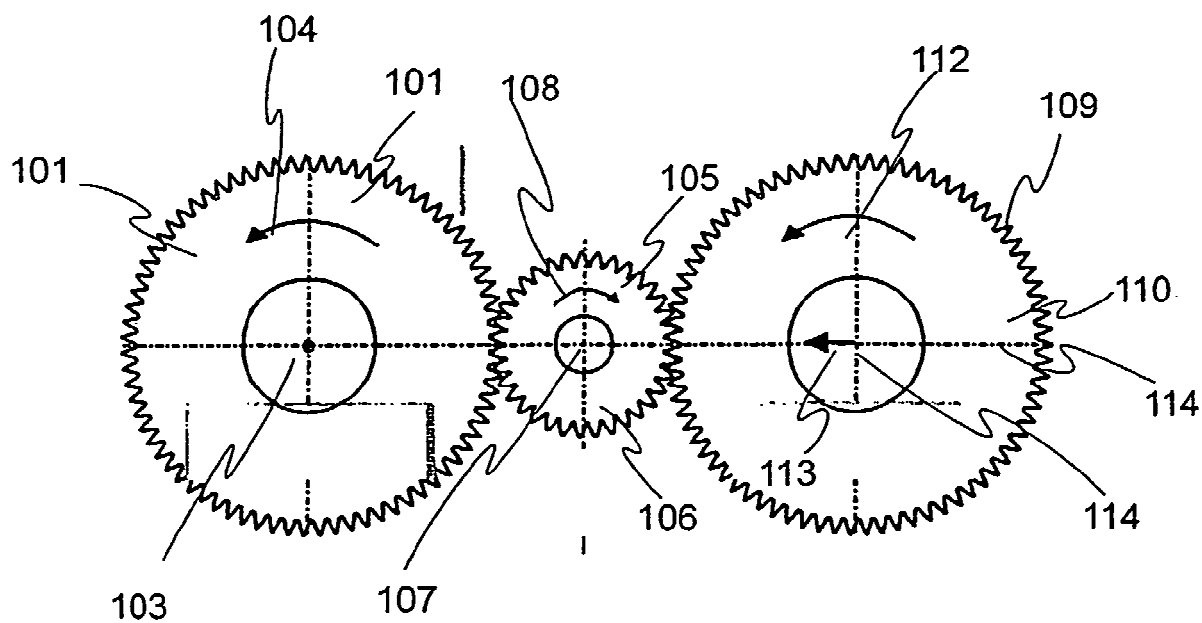


Fig. 1

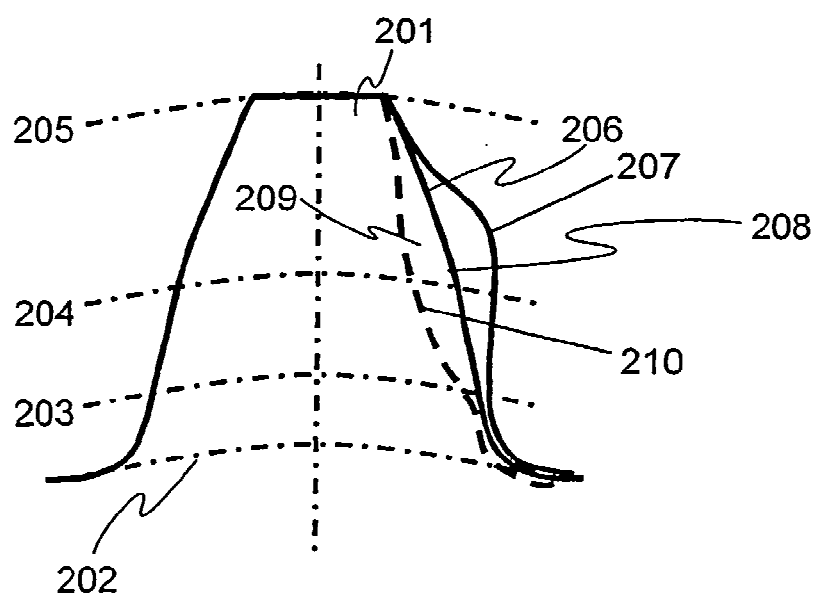


Fig. 2

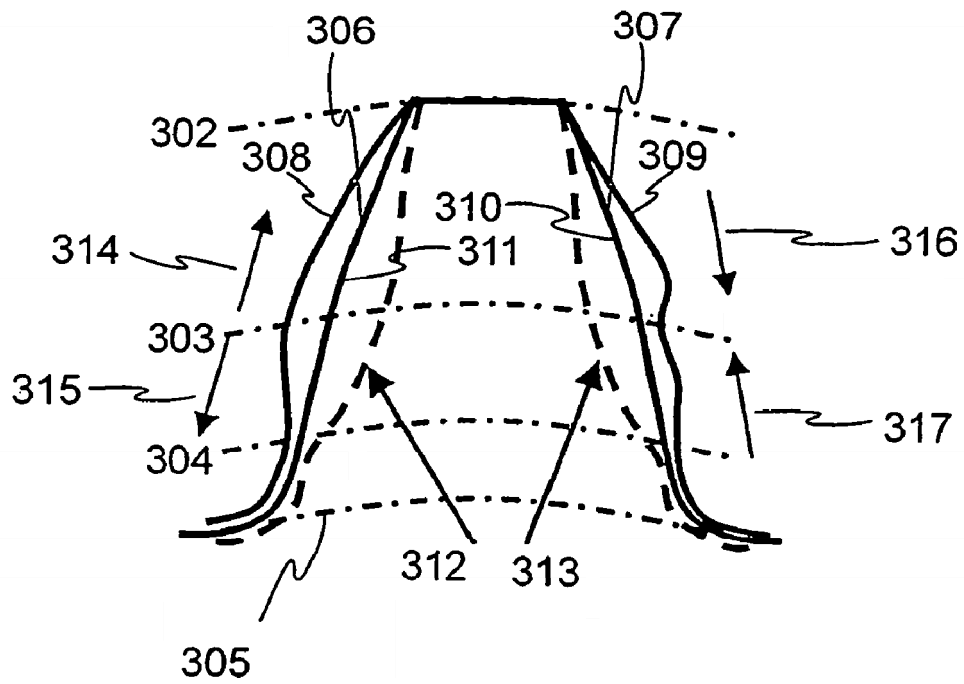


Fig. 3

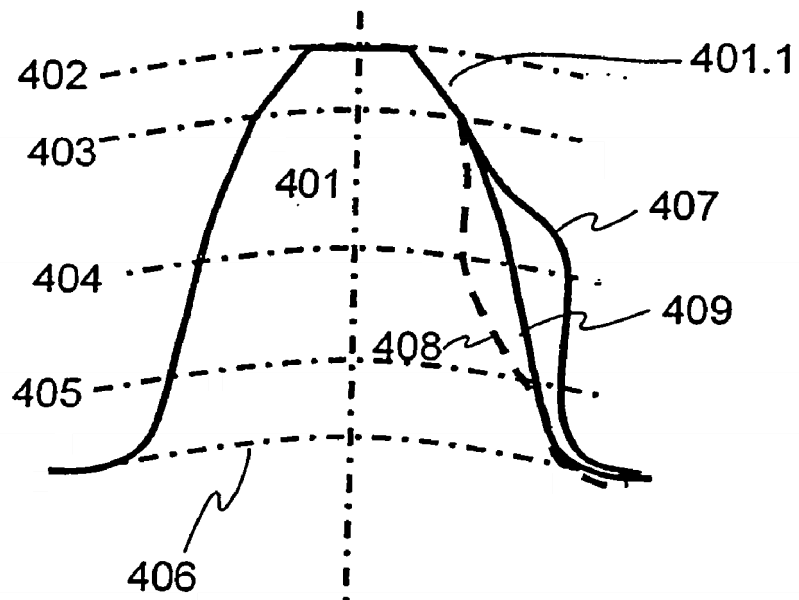


Fig. 4

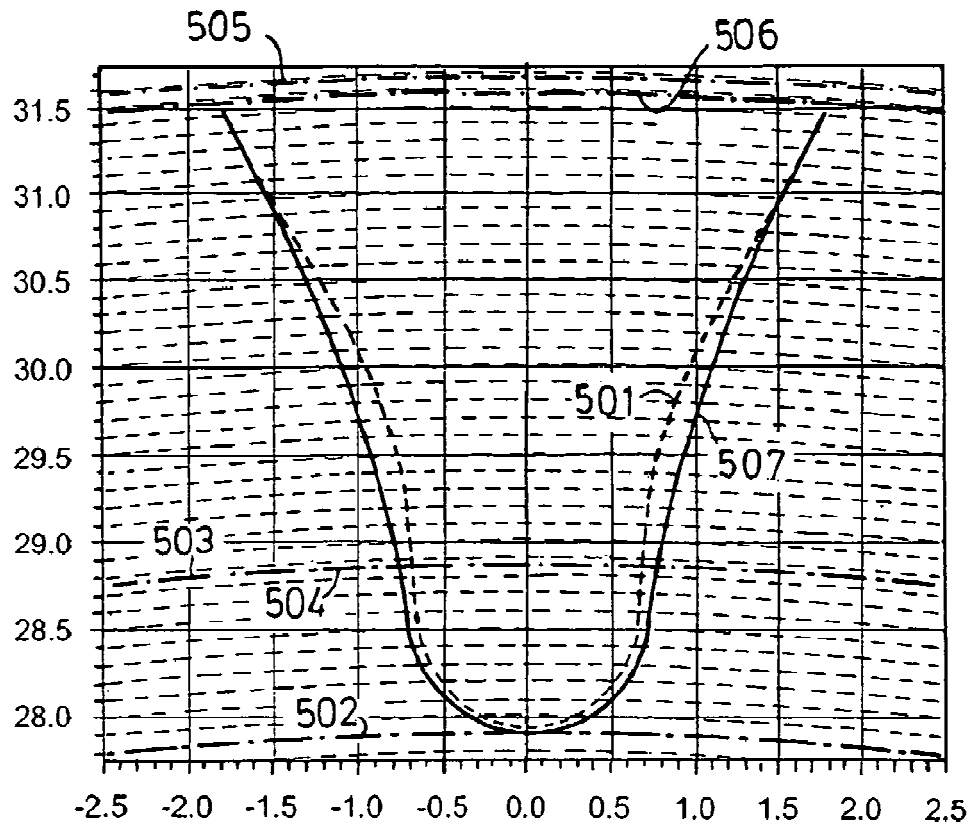


Fig.5

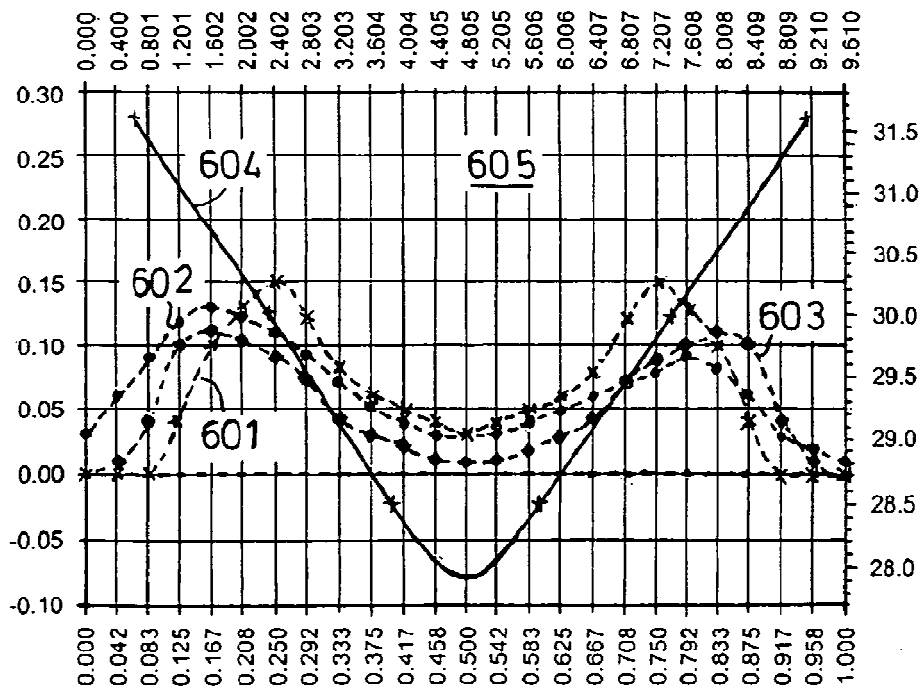


Fig.6

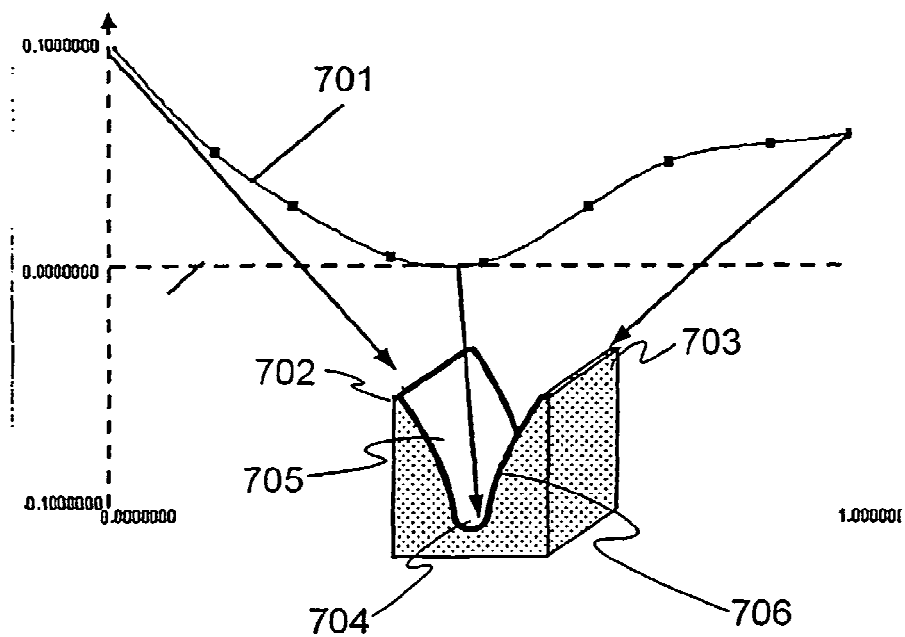


Fig. 7

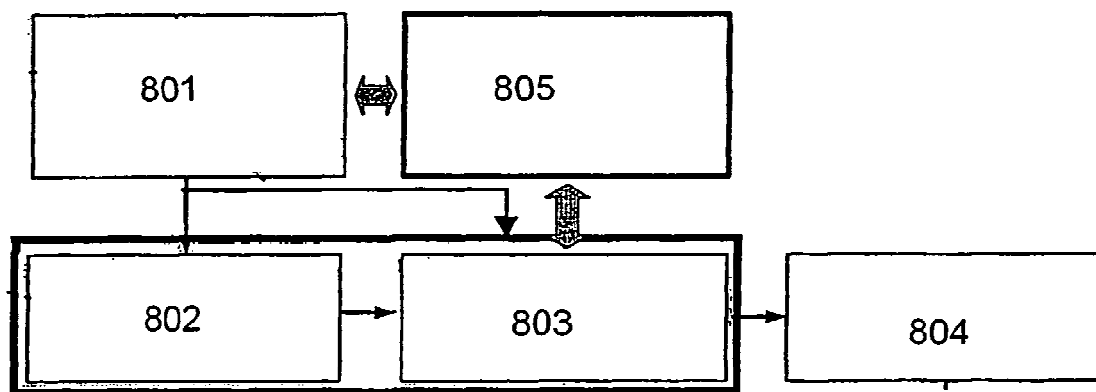
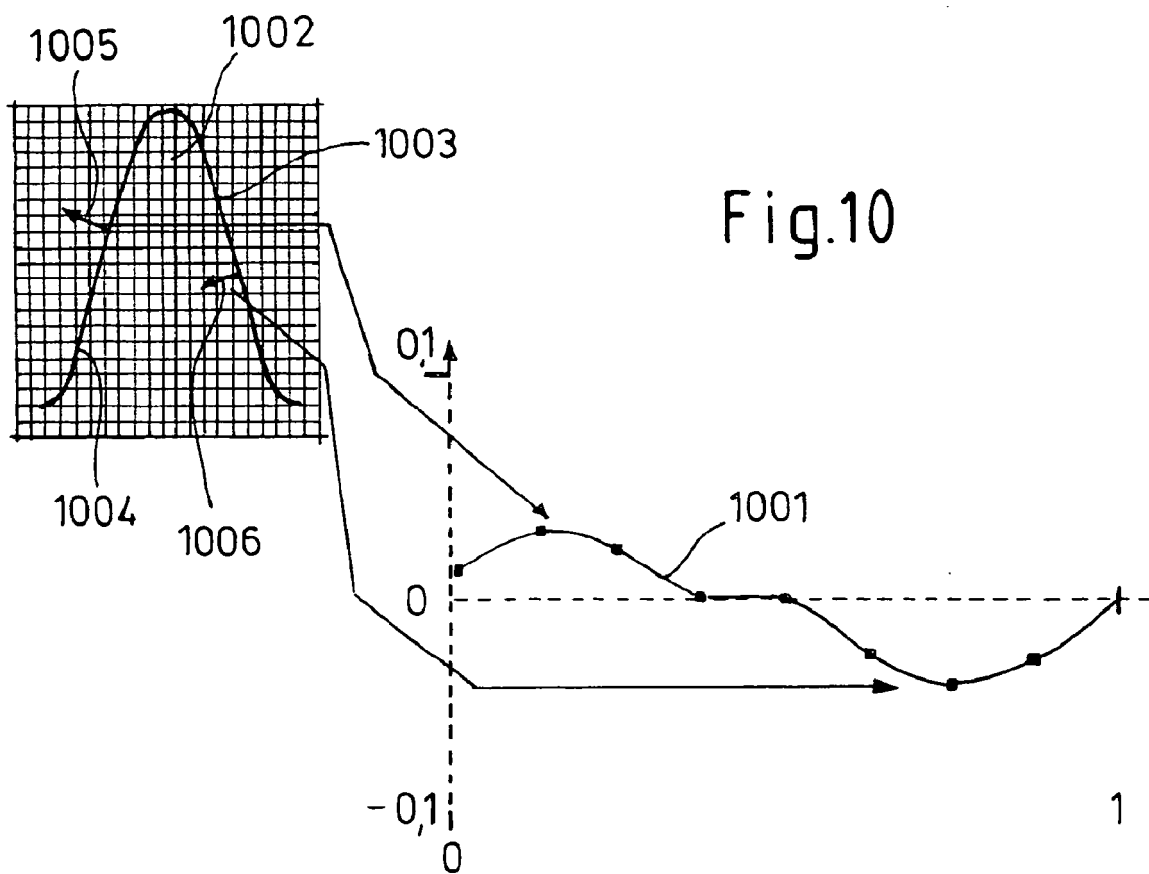
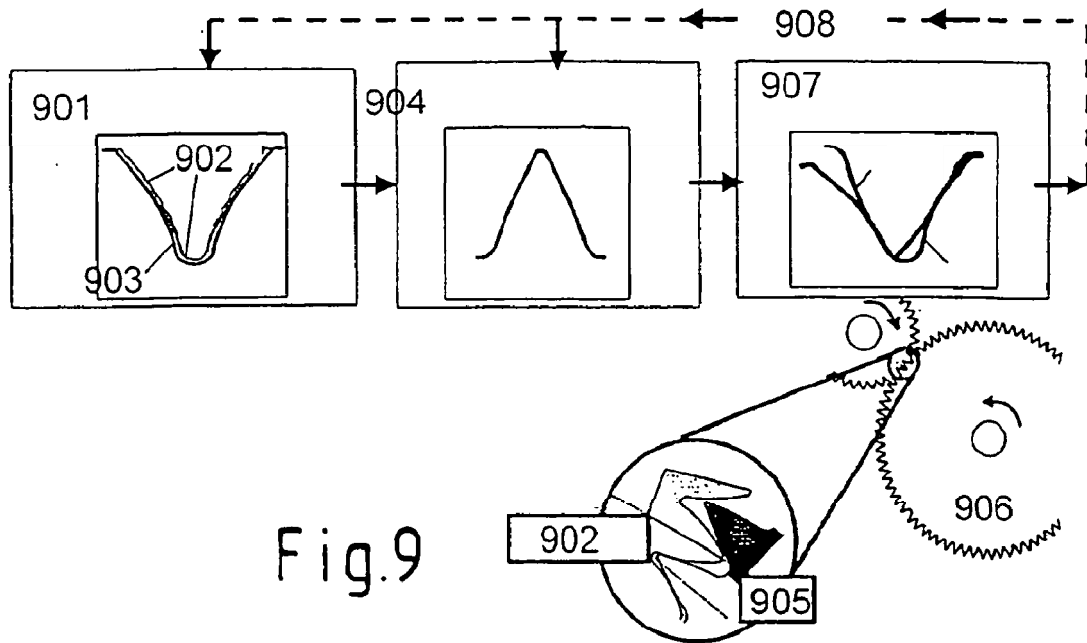


Fig. 8



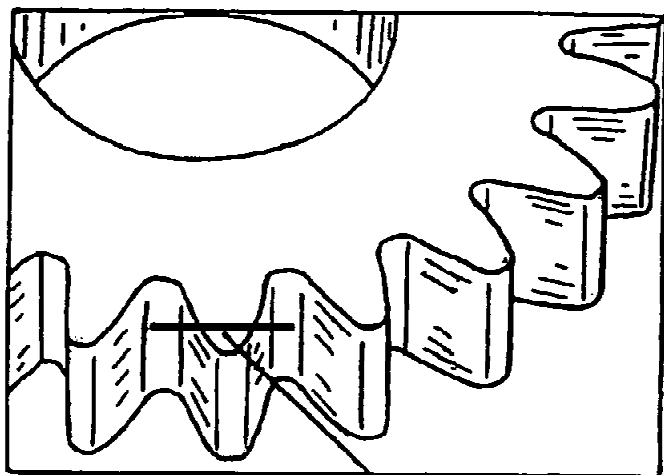
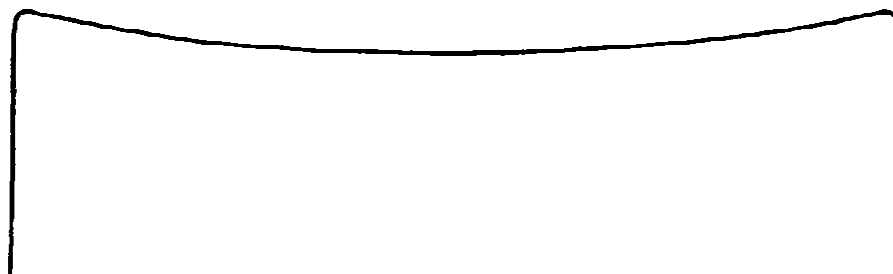


Fig.11



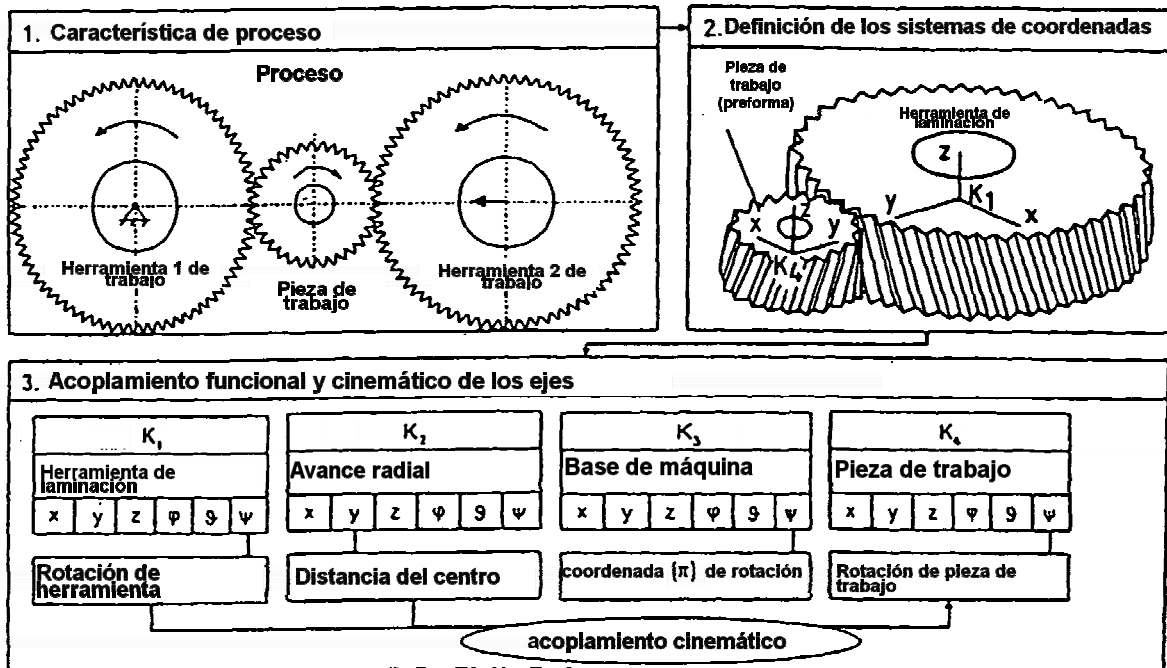


Fig.13

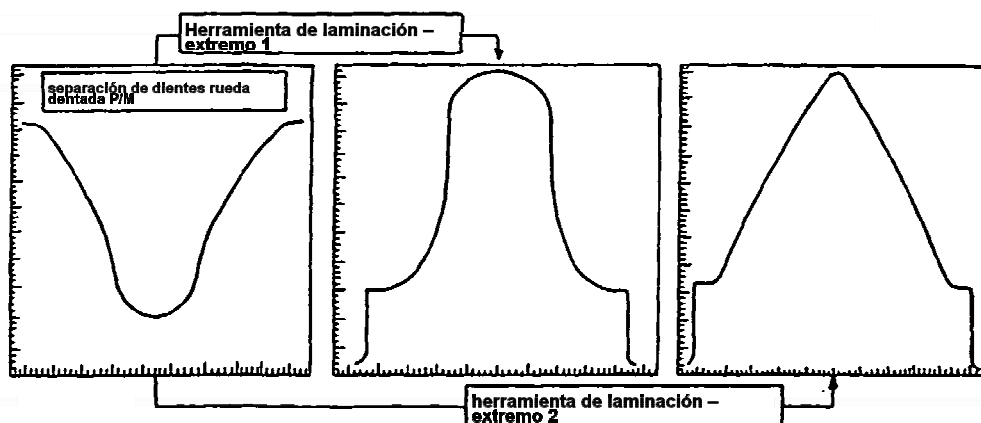


Fig.12

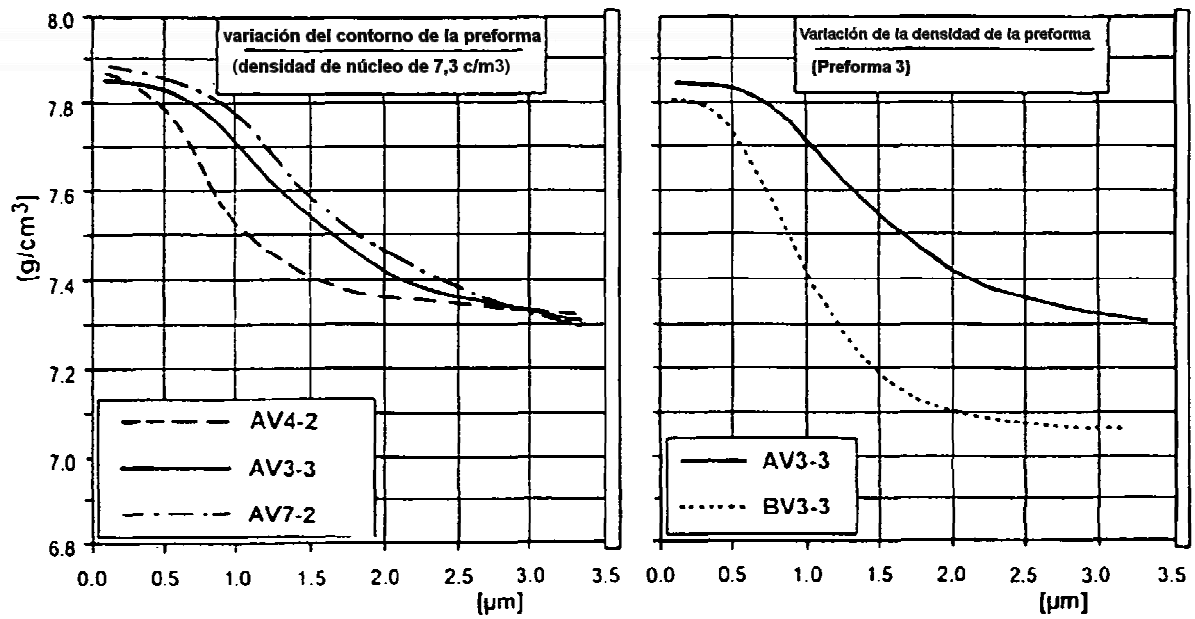


Fig.14

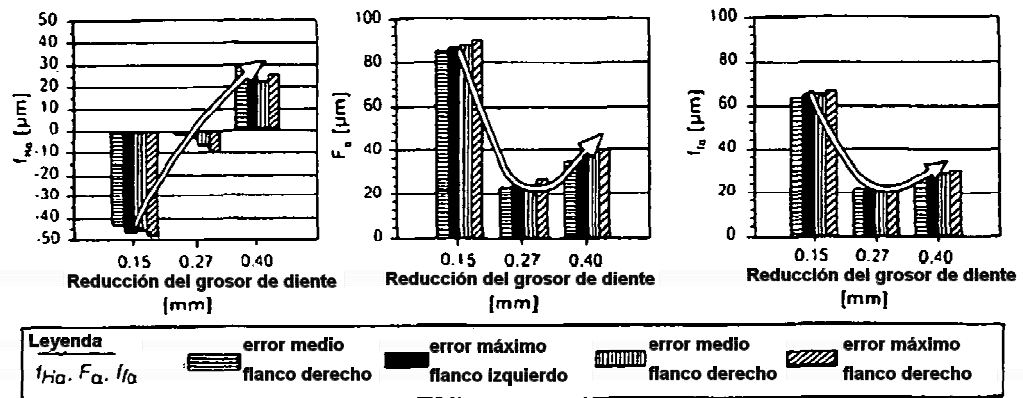
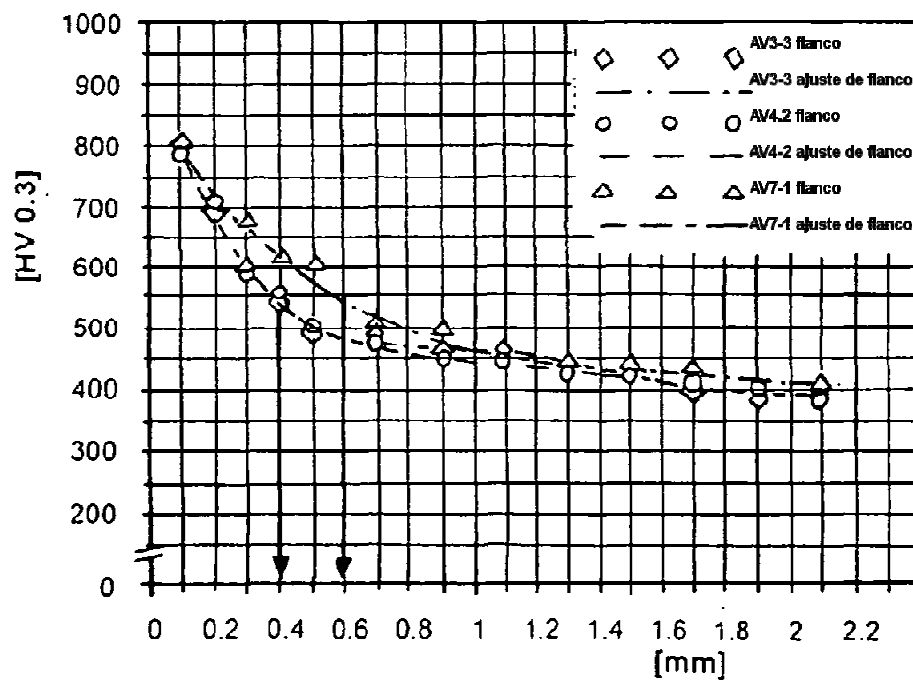
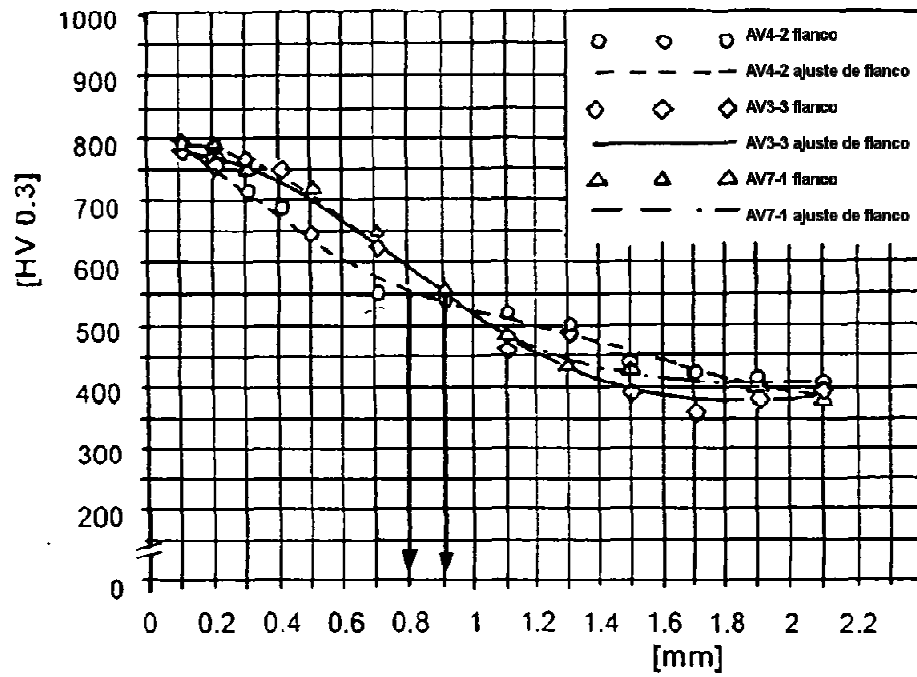


Fig.15



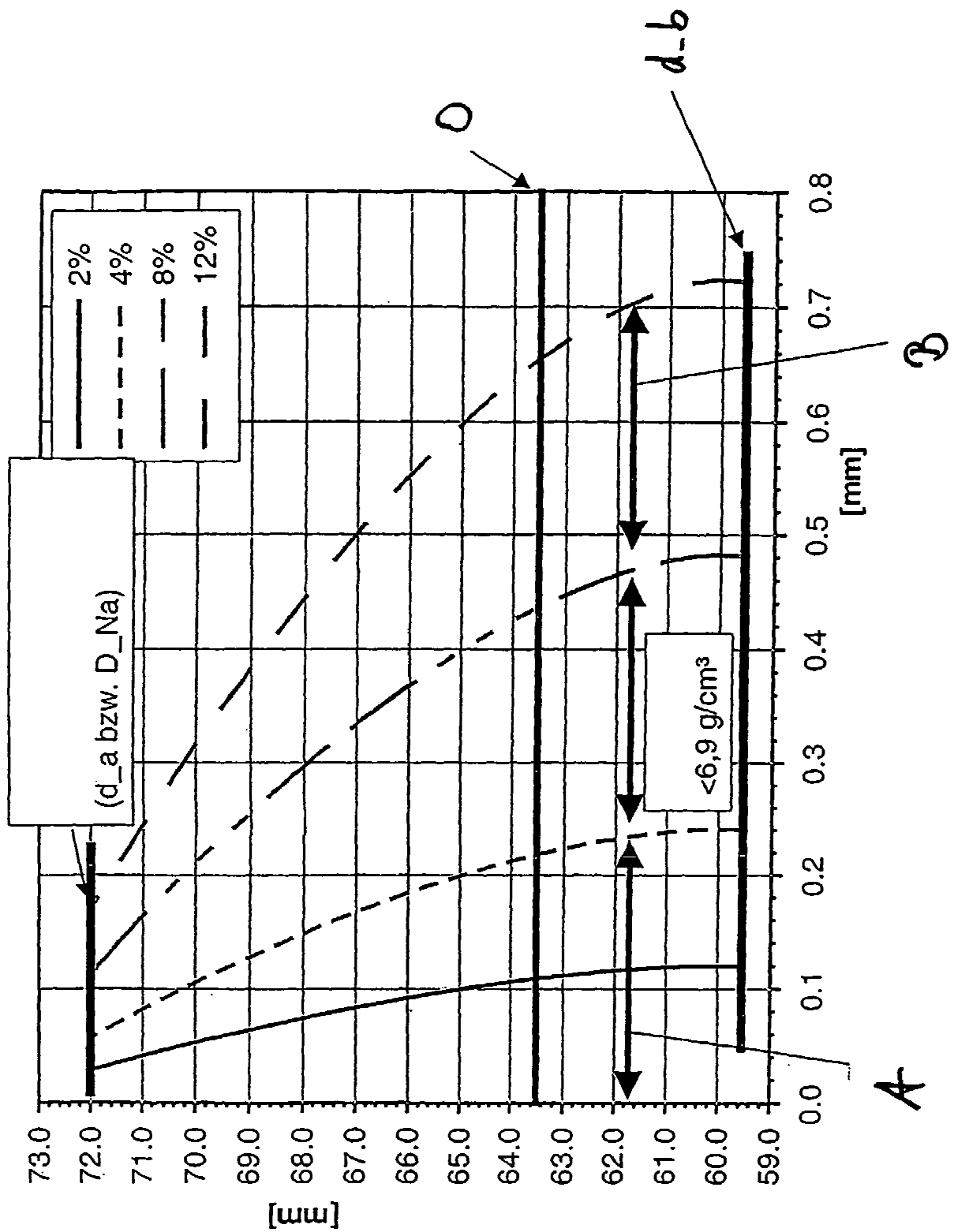
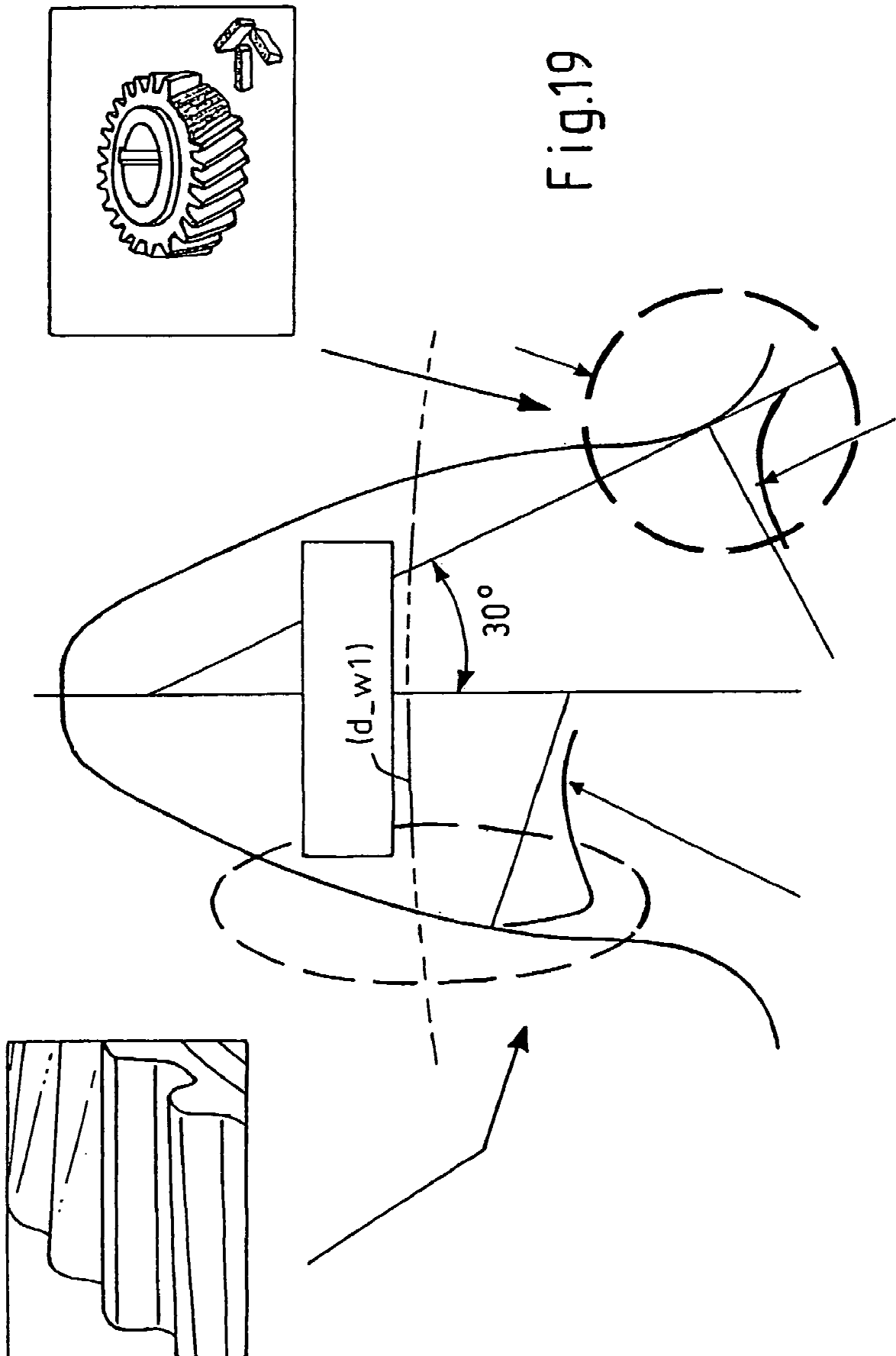


Fig. 18



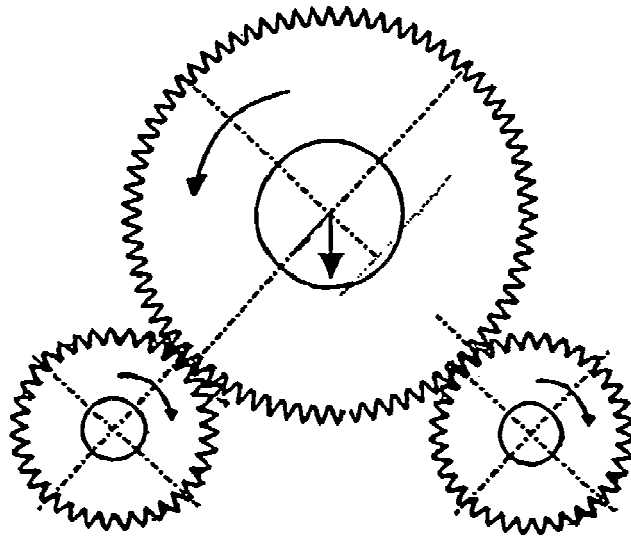


Fig. 20