

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 407 654**

51 Int. Cl.:

**B22F 5/08** (2006.01)

**B22F 3/16** (2006.01)

**B21H 5/02** (2006.01)

**F16H 55/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.06.2006 E 06754220 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.02.2013 EP 1888277**

54 Título: **Dentado de compactación superficial de material de sinterización con desviaciones especiales**

30 Prioridad:

**10.06.2005 DE 102005027137**

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

**13.06.2013**

73 Titular/es:

**GKN SINTER METALS HOLDING GMBH (100.0%)  
KREBSÖGE 10  
42477 RADEVORMWALD, DE**

72 Inventor/es:

**KOTTHOFF, GERHARD**

74 Agente/Representante:

**CURELL AGUILÁ, Mireia**

**ES 2 407 654 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Dentado de compactación superficial de material de sinterización con desviaciones especiales.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la fabricación de un dentado de engranaje recto que presenta un material de sinterización compactado, y a un dentado correspondiente.

10 Los elementos de dentado sinterizados tales como, por ejemplo, las ruedas dentadas producidas mediante pulvimetalurgia se utilizan en muchas áreas. Los materiales de sinterización presentan en general una densidad menor en comparación con los materiales forjados de manera convencional de, por ejemplo, acero. Por tanto, es deseable una compactación superficial de una pieza sinterizada.

15 De la tesis doctoral "Neue Verfahren zur Tragfähigkeitssteigerung von gesinterten Zahnradern", Gerhard Kotthoff, volumen 23/2003, edición Shaker, ISBN 3-8322-2125-5, se desprenden investigaciones básicas, partiendo de las cuales, haciendo referencia a consideraciones de la técnica de arranque de virutas, se remite a una laminación de superficie de ruedas dentadas para un aumento de la densidad y resistencia.

20 El objetivo de la presente invención es posibilitar de manera mejorada una posibilidad de uso de un elemento de dentado metálico que presenta un material de sinterización.

Este objetivo se alcanza mediante un procedimiento según la reivindicación 1 para la fabricación de un dentado de engranaje recto con compactación superficial, y mediante un dentado correspondiente según la reivindicación 3. Configuraciones y perfeccionamientos ventajosos se indican en las reivindicaciones dependientes respectivas.

25 Según una idea de la invención, que puede utilizarse tanto de manera independiente como relacionado con las características adicionales de la divulgación, se propone un procedimiento para la fabricación de un dentado de engranaje recto de material de sinterización compactado, en el que, por medio de unos datos determinados de manera iterativa, una preforma de diente precompactada se compacta en por lo menos 0,05 mm en su superficie hasta obtener su forma final, y se consigue una calidad de la forma final de por lo menos  $f_{H\alpha} = 4$ ,  $F_{\alpha} = 7$  y  $f_{f\alpha} = 7$ . A  
30 este respecto,  $f_{H\alpha}$  significa la desviación con respecto al dentado,  $F_{\alpha}$  la desviación total y  $f_{f\alpha}$  la desviación de forma de perfil de los flancos. Los valores indicados corresponden a las clases DIN con respecto a la desviación.

A este respecto está previsto que una iteración tenga en cuenta parámetros, que se refieren a un comportamiento del material en una compactación superficial de la forma de diente y una iteración para la determinación de una  
35 preforma parte de datos introducidos, que se extraen de una especificación de la forma final. Preferentemente se utiliza por lo menos un útil de laminación, que presenta la misma calidad que la forma final creada posteriormente. Mediante la determinación iterativa y el mecanizado de este modo muy preciso en la compactación superficial se posibilita que la calidad de la herramienta pueda transferirse a la preforma. En particular la compactación superficial muy precisa posibilita que el dentado tras la compactación superficial sin una etapa de mecanizado posterior  
40 adicional por arranque de viruta presente esta calidad de la forma final. Por ejemplo, se produce una pieza con el dentado con una densidad de núcleo de por lo menos  $7,4 \text{ g/cm}^3$  y una densidad superficial, que es máxima por lo menos en una zona de un flanco de diente, extendiéndose la densidad superficial máxima en la zona a una profundidad de por lo menos  $0,02 \mu\text{m}$ .

45 En un perfeccionamiento del procedimiento para la fabricación de un elemento de dentado metálico con un temple superficial por lo menos parcial, que presenta un material de sinterización compactado, se produce una preforma del elemento de dentado con una sobredimensión localmente selectiva con respecto a una medida final del elemento de dentado y se lamina por medio de por lo menos un útil de laminación hasta obtener la medida final, compactándose  
50 el elemento de dentado por lo menos en la zona de por lo menos un flanco y/o de una raíz de un diente del elemento de dentado para la generación de una película de laminación compactada en una superficie con variación local.

El material de sinterización compactado se produce en particular con procedimientos de pulvimetalurgia. Por ejemplo, se sinteriza un polvo metálico a una presión junto con un tratamiento térmico. Además, por ejemplo, se moldea por inyección polvo metálico junto con plástico y, en particular, se sinteriza a una presión preferentemente  
55 con un tratamiento térmico. Para una conformación de una pieza sinterizada se utiliza, en particular, un molde de sinterización, que presenta por lo menos prácticamente la medida final del elemento de dentado que va a producirse. Preferentemente, se utiliza como preforma la pieza resultante directamente del proceso de sinterización. Sin embargo, en otra variante también puede añadirse posteriormente por lo menos una etapa de mecanizado de superficie adicional. La preforma presenta a este respecto una sobredimensión, que debe entenderse como una diferencia con respecto a una medida final, estando definida la diferencia preferentemente de manera puntual en  
60 perpendicular a la superficie.

Como útil de laminación se utiliza, por ejemplo, un rodillo, que está equipado con un dentado, que puede engranarse con el dentado del elemento de dentado. Un útil de laminación de este tipo se hace rodar en particular a una presión sobre una superficie del elemento de dentado. Preferentemente, en particular, simultáneamente se utilizan dos o  
65 más herramientas de laminación de este tipo. Por ejemplo, una rueda dentada que va a producirse puede

disponerse de manera central entre dos herramientas de rodadura. A continuación, haciendo avanzar ambas herramientas de rodadura puede realizarse una compactación superficial del material de sinterización del dentado. En general, un procedimiento de fabricación de este tipo se deduce, por ejemplo, de Takeya *et al*, "Surface Rolling of sintered gears", SAE 1982 World Congress, Technical Paper 820234. De 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 8.193.927, EP 0 600 421 A1, GB 2.250.227 también se deducen en cada caso diferentes procedimientos de fabricación, materiales de sinterización, herramientas, el desarrollo de la compactación y dispositivos para dentados sinterizados, que también pueden utilizarse adaptados a la invención. De manera correspondiente al marco de esta divulgación se remite a los documentos anteriores.

Por ejemplo, también puede utilizarse un primer útil de laminación con una primera presión esencialmente para la laminación de contornos bastos y a continuación un segundo útil de laminación con una segunda presión para conseguir la compactación superficial que va a ajustarse de manera controlada.

La sobredimensión localmente selectiva debe dimensionarse en particular de tal manera, que el elemento de dentado se compacte por lo menos en la zona de por lo menos un flanco y/o de una raíz de un diente del elemento de dentado en una película de laminación en una superficie con variación local. Preferentemente dentro de la película de laminación compactada se consigue una densidad total, debiendo entender la densidad total preferentemente con respecto a una densidad de un diente comparable sometido a forja de polvo. Por ejemplo una preforma de un material de sinterización presenta en un núcleo una densidad de por lo menos 6,8 g/cm<sup>3</sup>, preferentemente de por lo menos 7,1 g/cm<sup>3</sup> y en particular de por lo menos 7,3 g/cm<sup>3</sup>. En la película de laminación compactada la preforma presenta, por ejemplo, una densidad de por lo menos 7,7 g/cm<sup>3</sup>, preferentemente de por lo menos 7,8 g/cm<sup>3</sup>, lo que corresponde a la densidad de una preforma sometida a forja de polvo del mismo material. De manera especialmente ventajosa, a este respecto, se consigue un desarrollo de la resistencia según el esfuerzo. Además con un desarrollo de la densidad localmente variable y según el esfuerzo se proporciona preferentemente un dentado sinterizado que puede someterse a grandes esfuerzos. El desarrollo de la densidad, en particular en las zonas sometidas a mayor esfuerzo puede presentar un mayor grado de densidad por una zona más grande en comparación con zonas directamente contiguas con una carga menor. Por medio de una determinación de una sobredimensión optimizada, un dentado producido de este modo también puede fabricarse de manera económica en pocas etapas de trabajo.

Según una configuración la película de laminación compactada en cada caso de manera diferente también se genera por una sobredimensión diferente a lo largo de un flanco y/o base del diente de la preforma. Por ejemplo está previsto que una profundidad de la película de laminación compactada, visto en cada caso en perpendicular a la superficie, aproximadamente en el lugar de un esfuerzo máximo presente un máximo de densidad. Éste puede estar, por ejemplo, a media altura del diente y en cada caso disminuir hacia la cabeza del diente y hacia la raíz del diente de manera continua hasta cero. En particular para evitar picaduras 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 rodadura se ajuste una compactación especialmente elevada en el material de sinterización. Sin embargo, también pueden preverse otros desarrollos. En particular, al diseñar un desarrollo de compactación se considera un desarrollo de la fuerza en un flanco de diente del elemento de dentado en su uso previsto según la utilización. Por ejemplo, para ello, se recurre a las fuerzas que aparecen en los dientes de una rueda dentada en un engranaje y se recurre a los desarrollos de tensión de comparación resultantes por debajo de la superficie. Este modo de proceder también es posible en otros dentados.

Es especialmente ventajoso seleccionar una sobredimensión en un primer flanco del diente de manera diferente que en un segundo flanco del diente. A este respecto, en particular, se considera una dirección de transmisión de fuerza en un uso previsto según la utilización de un elemento de dentado. En una rueda dentada en un engranaje se considera para ello por ejemplo que en función de un sentido de giro en el sentido de giro aparecen otras fuerzas en los flancos de diente que de manera opuesta al sentido de giro. Además puede compensarse una compactación diferente debido a un sentido de giro de un útil de laminación. Preferentemente se seleccionan las sobredimensiones de tal manera que tras un proceso de compactación resulta un desarrollo de compactación idéntico a lo largo de los flancos de diente primero y segundo.

Por ejemplo, para evitar grietas por tensión en una zona del pie de diente o base del diente se pretende obtener una capa de superficie localmente compactada también en estas zonas. Es especialmente conveniente que en una base del diente se seleccione una sobredimensión asimétrica. Por ejemplo, una zona del pie de diente izquierda presenta otra profundidad de compactación que un pie de diente derecho. En particular, en cada caso, entre dos dientes puede proporcionarse una variación preferentemente continua de una profundidad de una película de laminación mediante una variación correspondiente de la sobredimensión.

Preferentemente, en la configuración de un dentado se prevé una sobredimensión diferente, en particular asimétrica no sólo con respecto a un flanco, sino preferentemente con respecto a dos flancos opuestos entre sí. Adicionalmente, se prevé una sobredimensión diferente en el pie de diente, que preferentemente es asimétrica. Del mismo modo, los flancos de diente y pies de diente de un dentado pueden ser en cada caso asimétricos. Por sobredimensión, en este caso, no sólo debe entenderse la puesta a disposición de material adicional. Más bien, también corresponde a la misma una medida inferior a la especificada. Por ésta ha de entenderse que en una zona

está previsto menos material de sinterización del que debería preverse con respecto a un contorno final tras una etapa de mecanizado. La medida inferior a la especificada determinada garantiza por ejemplo que en caso de desplazamiento de material de sinterización no se produzcan elevaciones no deseadas. La medida inferior a la especificada representa, por tanto, una zona que debe rellenarse en particular mediante desplazamiento de material de sinterización, de una preforma con un dentado.

Además, existe la posibilidad de prever diferentes ángulos de engranaje en un diente de un dentado. Así, el ángulo de engranaje de un flanco del diente puede desviarse por lo menos un 15% del ángulo de engranaje del otro flanco del diente.

En una configuración, está previsto que por lo menos 20  $\mu\text{m}$  por debajo de una superficie de un primer flanco del diente se genere una densidad un 2%, hasta por lo menos un 15% mayor que en un segundo flanco del diente a la misma altura. Preferentemente, en el primer flanco del diente se consigue una densidad, que corresponde a por lo menos aproximadamente la densidad que se consigue para un elemento de dentado sometido a forja de polvo, mientras que el segundo flanco presenta una densidad menor. Por ejemplo, en un flanco se ajusta una densidad en un intervalo entre 7,2  $\text{g/cm}^3$  y 7,7  $\text{g/cm}^3$ , mientras que en la zona correspondiente del segundo flanco se ajusta una densidad entre 7,5  $\text{g/cm}^3$  y 7,82  $\text{g/cm}^3$ . En particular, de este modo, a su vez se consideran por ejemplo cargas diferentes en función del sentido de giro de los dos flancos de diente. Preferentemente, a este respecto, se consigue un desarrollo de elasticidad y dureza según la exigencia. Más preferentemente, de este modo se reduce la aparición de ruidos por ejemplo en un engranaje.

Además está previsto que una sobredimensión local en un primer flanco del diente se seleccione por lo menos un 10% mayor, que una sobredimensión en un segundo flanco del diente a la misma altura. De este modo, en una primera variante se consigue por ejemplo, que debido a una sollicitación de presión diferente en la compactación en función del sentido de giro se alcance un desarrollo de compactación idéntico en los flancos de diente primero y segundo. En otra variante, por ejemplo, se consigue un desarrollo de compactación diferente en los flancos de diente primero y segundo. A este respecto pueden ajustarse de manera controlada en particular densidades máximas diferentes, sus profundidades así como su lugar con respecto a la altura del dentado.

Es especialmente conveniente, que una magnitud de una sobredimensión local máxima ascienda a por lo menos 15  $\mu\text{m}$ , preferentemente por lo menos 100  $\mu\text{m}$  y de manera especialmente preferida por lo menos 400  $\mu\text{m}$ . En caso de que la densidad de la preforma se encuentre en un intervalo entre 7,2  $\text{g/cm}^3$  y 7,5  $\text{g/cm}^3$ , se prevé preferentemente una sobredimensión máxima entre 20 y 150  $\mu\text{m}$ . En caso de que la densidad de la preforma se encuentre comprendida entre 6,7  $\text{g/cm}^3$  y 7,2  $\text{g/cm}^3$ , se utiliza preferentemente una sobredimensión máxima entre 50  $\mu\text{m}$  y 500  $\mu\text{m}$ . A este respecto, una sobredimensión también puede ser localmente negativa, considerándose por ejemplo una redistribución lateral de material. Una redistribución lateral puede producirse mediante el flujo de material a consecuencia de una operación de laminación. En particular, puede estar prevista una sobredimensión negativa por lo menos localmente, que se encuentra localmente por debajo de la medida final. La sobredimensión negativa asciende preferentemente a como máximo 100  $\mu\text{m}$ . Según una configuración la sobredimensión negativa asciende como máximo a menos de 50  $\mu\text{m}$  y en particular a menos de 20  $\mu\text{m}$ . En particular la sobredimensión negativa máxima se encuentra en un intervalo entre 100  $\mu\text{m}$  y 20  $\mu\text{m}$ .

Preferentemente se consigue una compactación, que por lo menos en una zona de un flanco de diente del dentado alcanza una profundidad entre 1 mm y 1,5 mm. Por el contrario, la compactación en el pie de diente puede ser menor. Según una configuración, la profundidad máxima de la compactación de un flanco de diente es por lo menos un factor de 6 mayor que una profundidad máxima de una compactación en una zona del pie de diente correspondiente. Esto permite que, por un lado, el dentado presente una resistencia suficiente, pero que por otro lado, también conserve una cierta deformabilidad. De este modo, se impide una rotura del diente.

En una configuración del procedimiento está previsto que la preforma y el útil de laminación rueden una sobre otra, hasta que se genere un movimiento de conformación final entre el elemento de dentado producido de este modo y el útil de laminación. Esto se utiliza, por ejemplo, para la fabricación de ruedas dentadas engranadas entre sí. Preferentemente, durante la operación de rodadura con el útil de laminación se reduce una distancia entre el útil de laminación y la preforma. De manera correspondiente, en particular, se ajusta o adapta una presión de rodadura. Además de la posibilidad de un control de la fuerza también puede realizarse un control del trayecto en la máquina. Además, existe la posibilidad de prever una combinación de control de la fuerza y del trayecto en la fabricación del dentado. A este respecto, en una etapa de la fabricación puede producirse un control del trayecto puro y en otra etapa de la fabricación un control de la fuerza puro. Éstos también pueden alternarse varias veces.

En otra configuración, está previsto que por medio de un movimiento de laminación entre la preforma y el útil de laminación se produzca un dentado en forma de cicloide y/o en forma de evolvente.

Una mejora adicional de un temple superficial pueden conseguirse en particular porque el procedimiento para la fabricación de un elemento de dentado metálico con una compactación superficial por lo menos parcial comprende un proceso de temple superficial térmico y/o químico.

En una primera variante se utiliza como proceso de temple térmico y/o químico, por ejemplo, una cementación. Preferentemente, a este respecto, además de un aumento de la dureza se consigue una reducción de deformaciones. En otra variante, por ejemplo, se utiliza un proceso de carbonitruración. Además puede utilizarse un proceso de nitruración o nitrocarburoación así como un proceso de boruración. En particular, en estos procesos, junto con un tratamiento térmico también se consigue una reducción de una deformación. Mediante el ajuste de la presión reinante también puede influirse en el temple. Por ejemplo puede ajustarse un vacío, en particular cuando se realiza una cementación. También existe la posibilidad de realizar un temple por inducción.

El temple se realiza según una configuración sólo parcialmente, por ejemplo sólo en la zona del dentado.

En una variante preferida está previsto que un procedimiento para la fabricación de un elemento de dentado metálico con un temple superficial por lo menos parcial, que presenta un material de sinterización compactado, comprenda las etapas de "compresión en frío o caliente, sinterización, laminación de compactación de medidas y superficie así como cementación". Por ejemplo, en primer lugar se produce una compresión 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 producirse. En una segunda etapa se produce, por ejemplo, el proceso de sinterización bajo la acción térmica con o sin la acción de presión. Preferentemente, a continuación, se produce la compactación de medidas y superficie por medio de rodillos. Como ya se mencionó anteriormente se produce una laminación de compactación de medidas y superficie preferentemente de manera simultánea por medio de por lo menos dos herramientas de laminación. A continuación, finalmente, puede producirse el temple, en particular la cementación, que posibilita un temple adicional de la superficie.

A continuación, se indican a modo de ejemplo posibles etapas del procedimiento o desarrollos del procedimiento adicionales así como indicaciones más precisas con respecto a las piezas. Sin embargo, las etapas del procedimiento también pueden realizarse con otros materiales y valores de densidad alcanzados. Los materiales de sinterización que pueden utilizarse pueden utilizarse según sigue en general en el marco de la invención, indicándose a modo de ejemplo materiales que pueden utilizarse:

- polvos mezclados (admixed powders): Por ejemplo el polvo de hierro se mezcla con otros polvos preferentemente elementales. Por ejemplo:

Ancorsteel 1000+1,5-3,5 w/o de Cu + 0,6-1,1 w/o de grafito + 0,5-1,2 w/o de lubricante

Ancorsteel 1000B+1,5-2,2 w/o de Ni + 0,4-0,9 w/o de grafito + 0,6-1,1 w/o de lubricante

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

- polvos prealeados (pre-alloyed powders): polvo de dos o más elementos, que se alean durante la fabricación de polvo, distribuyéndose las partículas de polvo uniformemente. Por ejemplo: Ancorsteel 4600V, Ancorsteel 2000, Ancorsteel 86, Ancorsteel 150HP

- aleación híbrida (hybrid alloy): polvos prealeados o parcialmente aleados con adiciones elementales o aleadas con hierro, que se mezclan para obtener la composición de material deseada. Por ejemplo:

Ancorsteel 85P+1,5-2,5 w/o de Ni + 0,4-0,8 w/o de grafito + 0,55-1,1 w/o de aditamento de lubricación

Distaloy AE + 1,5-2,5 w/o de Ni + 0,4-0,8 w/o de grafito + 0,55-0,95 de aditamento de lubricación

Ancorsteel 85HP + 1,1-1,6 w/o de FeMn + 0,35-0,65 w/o de grafito + 0,6-0,95 de aditamento de lubricación

1. La pieza presenta una densidad de núcleo entre 6,5 y 7,5 g/cm<sup>3</sup>. La densidad superficial asciende a más de 7,5 g/cm<sup>3</sup>. Se genera una densidad máxima hasta una profundidad de 0,1 mm. Los materiales de partida para la preforma son polvos de metal sinterizado, en particular materiales prealeados, materiales parcialmente aleados o aleaciones híbridas.

Con un material prealeado se realiza una compresión en frío, una sinterización en un intervalo de temperaturas entre 1100°C y 1150°C, una compactación superficial, una cementación y a continuación un amolado, para conseguir una forma final de una pieza con dentado.

Con un material de sinterización metálico parcialmente aleado se realiza una compresión en caliente, con 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 en vacío posterior y un bruñido, para conseguir una forma final de una pieza con dentado.

5 Con un material de sinterización que presenta una aleación híbrida se realiza una compresión en caliente, en la que preferentemente el polvo y la herramienta están calentados. Preferentemente éstos están calentados en un intervalo entre 120°C y 150°C. A continuación tuvo lugar una etapa de sinterización, por ejemplo como sinterización a alta temperatura, una compactación superficial y, a continuación, un temple por inducción. Puede suprimirse por ejemplo un pretratamiento.

10 2. La preforma se ha sometido a forjada de polvo. Esta preforma se somete a compactación superficial, por lo menos parcialmente, en la zona de los flancos de diente y/o el pie de diente. Una densidad de núcleo de la pieza asciende a entre 5,7 g/cm<sup>3</sup> y 7,7 g/cm<sup>3</sup>. Una densidad superficial en la zona de asciende a más de 7,8 g/cm<sup>3</sup>, estando preferentemente en esta zona cerrados todos los poros restantes en la superficie. Sin embargo, también puede generarse una densidad máxima hasta una profundidad de 1,5 mm.

15 Un procedimiento de fabricación puede desarrollarse como sigue: selección del material de polvo, compresión en frío del material de polvo, sinterización preferentemente con una temperatura de aproximadamente 1120°C, a continuación forjado, preferentemente a una temperatura de aproximadamente 1000°C, eventual retirada de una capa de óxido, compactación superficial en particular mediante rodadura, temple superficial, en particular cementación, y eventual amolado parcial posterior hasta obtener un contorno final. El procedimiento puede desarrollarse, total o parcialmente, en una cadena de fabricación.

20 Una configuración adicional prevé que en el temple superficial se realice una cementación en vacío, a la que sigue una etapa de bruñido para zonas parciales del dentado.

25 3. En particular, para la fabricación de rotores y ruedas de bombas de aceite se somete a compactación superficial una preforma de un material que contiene aluminio en la zona de los flancos de diente y/o de los pies de diente. Durante la compactación superficial se consigue, en particular, una forma final del dentado. La densidad de núcleo de la pieza asciende preferentemente a entre 2,6 g/cm<sup>3</sup> y 2,8 g/cm<sup>3</sup>.

30 El material de sinterización se comprime por ejemplo en caliente, por ejemplo a una temperatura comprendida entre 40°C y 65°C, a continuación se elimina la cera, por ejemplo a una temperatura mayor de 400°C, en particular en un intervalo de temperaturas comprendido entre 420°C y 440°C, a continuación se sinteriza, por ejemplo en un intervalo de temperaturas por encima de 550°C, en particular en un intervalo de temperaturas comprendido entre 600°C y 630°C, a continuación se homogeneiza y enfría, por ejemplo hasta una temperatura comprendido entre 480°C y 535°C, realizándose a continuación una compactación superficial en particular mediante rodillos. A continuación puede tener lugar un temple, por ejemplo en un intervalo de temperaturas comprendido entre 120°C y 185°C durante un espacio de tiempo entre 6 h y 24 h.

40 4. La preforma se compacta preferentemente a lo largo del flanco de diente y del pie de diente, utilizándose en particular dos herramientas de laminación, en cuyo centro se dispone la preforma con posibilidad de giro. Una densidad de núcleo de la pieza asciende, dependiendo del material, preferentemente a entre 7,2 g/cm<sup>3</sup> y 7,5 g/cm<sup>3</sup>, una densidad superficial es, dependiendo del material, por lo menos por secciones, mayor de 7,8 g/cm<sup>3</sup>. Una densidad máxima está presente, en particular, hasta una profundidad de 1 mm, eventualmente, también más allá.

45 De las etapas de fabricación se propone, según una configuración, comprimir el material prealeado en frío, a continuación sinterizarlo, en particular en un intervalo de temperaturas comprendido entre 1100°C y 1150°C, realizar una compactación superficial, realizar un temple y amolar la superficie eventualmente de forma parcial.

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

55 Otra configuración prevé comprimir en caliente una aleación híbrida, habiendo calentado el polvo y la herramienta de compresión preferentemente en un intervalo de temperaturas entre 120°C y 160°C. Tras una etapa de sinterización tiene lugar una compactación superficial, a la que le sigue un temple, preferentemente un temple por inducción.

60 5. Además existe la posibilidad de que a una sinterización previa le siga una compactación superficial y que a su vez después esté prevista una sinterización posterior como etapa de procedimiento en la fabricación de una pieza con dentado. La sinterización previa puede tener lugar, por ejemplo, en un intervalo de temperaturas entre 650°C y 950°C. La sinterización posterior puede tener lugar, por ejemplo, a una temperatura de sinterización habitual para el material, por ejemplo, entre 1050°C y 1180°C. También existe la posibilidad de una sinterización a alta temperatura, por ejemplo, en el intervalo entre 1250°C y 1280°C. Después le puede seguir, opcionalmente, un temple y/o un postprocesado, por ejemplo un bruñido o también un amolado.

65 La compresión anterior puede tener lugar en frío, en caliente o a una temperatura muy elevada, habiéndose calentado preferentemente en el último caso la herramienta de compresión y el polvo. La compresión a una

temperatura muy elevada tiene lugar, por ejemplo, en un intervalo de temperaturas comprendido entre 120°C y 160°C.

5 6. Un perfeccionamiento prevé que a una etapa de sinterización posterior le siga un temple por sinterización. De manera opcional le puede seguir un amolado o bruñido.

10 7. Otro procedimiento de fabricación prevé compactar la preforma a una temperatura que se encuentra por encima de 150°C, en particular por encima de 500°C. Por ejemplo, puede guiarse la preforma directamente desde un horno de sinterización a una máquina para la compactación superficial. A este respecto la preforma puede presentar una temperatura que, por ejemplo, se encuentre por encima de 600°C, en particular que también ascienda a por encima de 800°C. Preferentemente, se calienta la o las herramienta/s para la compactación superficial, por ejemplo hasta una temperatura de aproximadamente 150°C. Según otra configuración la herramienta se enfría para la compactación superficial, preferentemente mediante un enfriamiento que discurre en el interior de la herramienta.

15 8. Otro procedimiento de fabricación prevé que tenga lugar una compactación superficial, mientras que la preforma se calienta por lo menos parcialmente. El calentamiento tiene lugar en particular hasta una temperatura que simplifica la compactación superficial. Preferentemente para ello se utiliza un calentamiento por inducción. A continuación, se produce un enfriamiento rápido, con el fin de crear una estructura martensítica. De esta manera, por ejemplo, puede combinarse un proceso de desmoldado con una compactación superficial.

20 Otra configuración prevé que una compactación superficial pueda realizarse con los procedimientos más diversos. Una forma de realización prevé, en particular, que en una primera zona la compactación superficial se realice con otro procedimiento que en una segunda zona distinta. Como procedimiento pueden utilizarse a este respecto un temple por granallado, un perdigonado con bolas, una compactación mediante una bola, mediante un rodillo o  
25 mediante otro cuerpo rotatorio, mediante herramientas estructuradas en forma de diente, en particular herramientas de laminación y similares. Estos procedimientos también son adecuados en cada caso separados individualmente entre sí para permitir una compactación superficial necesaria.

30 Por ejemplo, el pie de diente apenas se compacta o sólo se compacta ligeramente con una herramienta, con la que también se compacta el flanco de diente. Existe la posibilidad de compactar la superficie en una sección en tal medida, que sólo estén cerrados los poros en la superficie. A continuación puede mecanizarse el pie de diente con otra herramienta o procedimiento de compactación superficial. En particular con ello puede conseguirse una compactación superficial diferente a lo largo del flanco de diente en comparación con el pie de diente. Por ejemplo, de esta manera, pueden ajustarse diferentes calidades de superficie, por ejemplo, con respecto a la rugosidad. La  
35 depresión de superficie máxima también puede ser diferente debido a las diferentes técnicas. Además, existe la posibilidad de que la totalidad de la pieza con el dentado reciba una compactación superficial, como por ejemplo durante el granallado superficial. De esta manera también pueden mecanizarse, en particular, materiales de sinterización que contienen aluminio u otros materiales de sinterización que forman óxido, dado que con la compactación superficial también puede posibilitarse una retirada de una capa de óxido.

40 Además, se da a conocer una preforma para un procedimiento para la fabricación de un elemento de dentado metálico con un temple superficial por lo menos parcial, que presenta un material de sinterización compactado, presentando un primer y un segundo flanco de un diente sobredimensiones asimétricas que difieren entre sí en cada caso. Además también está previsto que una primera y segunda zona de raíz de un diente presenten sobredimensiones que difieren entre sí, en particular asimétricas.

45 Además se da a conocer un elemento de dentado con un material de sinterización 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 con variación local. Preferentemente, con ello, se posibilita una elasticidad conveniente para muchas aplicaciones del material de pulvimetalurgia, junto con un temple superficial. De manera especialmente preferida se posibilita, por ejemplo, en ruedas dentadas de engranajes, una reducción del ruido durante la transmisión de fuerzas y, al mismo tiempo, se proporciona una buena resistencia al desgaste.

50 En una primera variante está previsto que el elemento de dentado sea una rueda dentada con un dentado recto.

55 En particular, para una transmisión de fuerzas mejorada así como para la reducción del ruido entre las ruedas dentadas está previsto, en otra variante, que el elemento de dentado sea una rueda dentada con un dentado oblicuo. Según la descripción expuesta anteriormente es conveniente que los flancos opuestos entre sí de dientes de un elemento de dentado presenten una compactación asimétrica. Además, es conveniente que exista una compactación asimétrica en una zona de raíz. Esta compactación está adaptada a este respecto en particular a las  
60 fuerzas que aparecen en un uso según la utilización. Para evitar grietas iniciales por tensión está previsto en particular que la profundidad de la película de laminación compactada localmente sólo presente una magnitud tal que todavía se garantice una elasticidad o rigidez suficiente del diente. De manera especialmente preferida la profundidad de la película de laminación compactada en la zona de raíz es menor que en un flanco de diente.

65

Para un material de un elemento de dentado pueden estar previstas diferentes composiciones. En una primera variante se ha seleccionado un material de hierro como componente principal del material de sinterización y por lo menos un componente de aleación del grupo formado por 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. Otra aleación de hierro es, por ejemplo, Fe -1,5 Mo +0,2C con respecto a 20MnCr5. Además se prevé, por ejemplo, como aleación que contiene hierro Fe -3,5 Mo con respecto a 16MnCr5. Asimismo puede utilizarse por ejemplo la aleación C 0,2% Cr 0,5% Mn 0,5% Mo 0,5%, siendo el resto hierro e impurezas. Además, pueden estar previstas otras composiciones.

Preferentemente, para una reducción del peso de un elemento de dentado, está previsto que como componente principal del material de sinterización se seleccione aluminio o magnesio. Según un aspecto de la invención está previsto que un dentado con compactación superficial de material de sinterización presente por lo menos un 80% de aluminio así como, por lo menos, cobre y magnesio como otros materiales de sinterización. Una primera configuración prevé que además se utilice silicio como material de sinterización. Por ejemplo, el silicio puede estar presente en un intervalo de desde aproximadamente el 0,45% hasta aproximadamente el 0,8%, preferentemente entre el 0,6% y el 0,75%. Sin embargo, el silicio también puede estar presente en un intervalo mayor, por ejemplo entre el 13% y el 17%, en particular entre el 14,5% y el 15,5%. Si la proporción de silicio es mayor, se reduce la proporción de cobre en el material de sinterización. De este modo, una primera mezcla puede presentar por ejemplo cobre con una proporción del 4% al 5%, silicio con una proporción del 0,45% a aproximadamente el 0,8%, magnesio con aproximadamente del 0,35% al 0,7% y el resto por lo menos fundamentalmente aluminio. Además, se añade, preferentemente un medio auxiliar de compresión. Éste puede presentar una proporción entre el 0,8 y el 1,8%. Por ejemplo, para ello puede utilizarse una cera, en particular cera de amida. Una segunda mezcla puede presentar, por ejemplo, cobre en una proporción del 2,2% al 3%, silicio con una proporción del 13% hasta aproximadamente el 17%, magnesio con una proporción de aproximadamente el 0,4% al 0,9% y el resto por lo menos principalmente aluminio. Asimismo puede utilizarse un medio auxiliar de compresión como se indicó arriba a modo de ejemplo. Después de una compactación superficial, por lo menos una zona del dentado, presenta una densidad de por ejemplo más de 2,5 g/cm<sup>3</sup>, preferentemente hasta la densidad máxima. Preferentemente una pieza con un dentado, producida de esta manera, presenta una resistencia a la tracción de por lo menos 240 N/mm<sup>2</sup> y una dureza de por lo menos 90 HB. Si el silicio es mayor, la densidad puede ascender en particular también a más de 2,6 g/cm<sup>3</sup>.

Una segunda configuración prevé que además se utilice por lo menos cinc como material de sinterización junto con cobre y magnesio como aditivos y aluminio. Preferentemente el cobre tiene una proporción en un intervalo comprendido entre el 1,2% y el 2,1%, en particular entre el 1,5% y el 1,65%, magnesio entre el 1,9% y el 3,1%, preferentemente entre el 2,45% y el 2,65%, cinc entre el 4,7% y el 6,1%, en particular entre el 2,3% y el 5,55%. El resto es por lo menos principalmente aluminio. Adicionalmente puede utilizarse también en este caso un medio auxiliar de compresión como se describió anteriormente. Una pieza con un dentado producida con esta mezcla presenta preferentemente, después de la compactación superficial, por lo menos una zona del dentado, en la que discurre una densidad de por lo menos 2,58 g/cm<sup>3</sup> hasta la densidad máxima. Preferentemente una pieza con un dentado, producida de esta manera, presenta una resistencia a la tracción de por lo menos 280 N/mm<sup>2</sup> y una dureza de por lo menos 120 HB.

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

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

Además, se da a conocer un dispositivo para la fabricación de un elemento de dentado con compactación superficial por lo menos parcial, en particular para la realización de un procedimiento descrito anteriormente con un control de herramienta adaptado a una sobredimensión diferente. El dispositivo comprende a este respecto en particular por lo menos un útil de laminación, que puede actuar sobre la preforma, preferentemente con la ayuda del control de herramienta adaptado, preferentemente con una presión adaptada y/o trayecto controlado en un engranaje adaptado. El dispositivo comprende en particular un útil de laminación con una superficie dentada, que puede engranarse con el dentado del elemento de dentado y puede rodar por encima.

Además, se da a conocer un dispositivo para la fabricación de un elemento de dentado, con temple superficial por lo menos parcial, de una preforma compuesta de un material de sinterización, por lo menos en una zona de superficie, comprendiendo el dispositivo una herramienta, que presenta una compensación de diferentes sobredimensiones en un primer y un segundo flanco de un diente de la preforma que va a compactarse mediante movimiento combinado de rodadura y de deslizamiento. El útil de laminación puede presentar a este respecto un contorno necesario para la conformación, por ejemplo un dentado evolvente, únicamente en un flanco o en ambos flancos de un diente. Sin embargo, en otra variante está previsto también que en cada caso en un primer o un segundo flanco de un diente del dentado del útil de laminación existan, en cada caso, sobredimensiones que difieren entre sí. Esto puede ser, por ejemplo, un dentado evolvente diferente.

Además, se da a conocer un procedimiento para el diseño de una sobredimensión para conseguir una compactación superficial de un elemento de dentado metálico sinterizado en una operación de rodadura, determinándose la sobredimensión de manera iterativa. En una primera etapa, por ejemplo, se predetermina por ejemplo una geometría así como, en particular, un momento de giro y/o una distribución de la presión. En otra etapa se define, por ejemplo, un diseño de un útil de laminación. Además se determina una preforma con una sobredimensión definida localmente. Una selección puede tener lugar por ejemplo mediante bibliotecas de datos. Una biblioteca de datos de este tipo contiene, por ejemplo, desarrollos de la densidad experimentales, determinados mediante diferentes parámetros. Además, puede tener lugar una simulación de la operación de compactación o rodadura. Para ello se simula por ejemplo la cinemática de la operación de rodadura en relación con una simulación de las propiedades elásticas y plásticas de la preforma así como, dado el caso, del útil 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 relación con una solución discreta mediante, por ejemplo, elementos finitos o métodos de volúmenes finitos.

En una configuración preferida está previsto que una geometría de una herramienta de rodadura se determine de manera iterativa teniendo en cuenta la sobredimensión. Por ejemplo, puede determinarse una sobredimensión de un dentado evolvente de la herramienta de rodadura. Correspondientemente puede determinarse una sobredimensión para otro dentado diferente al evolvente.

En una configuración especialmente preferida está previsto que en una primera etapa se genere automáticamente una sobredimensión de una preforma del elemento de dentado, que puede definirse por lo menos puntualmente, con variación local por lo menos en una zona de un flanco de un diente, mediante por lo menos una especificación de construcción, que en una segunda etapa se genere automáticamente una geometría de un útil de laminación, que en una tercera etapa se simule un proceso de rodadura y un desarrollo local generado a este respecto de una compactación de por lo menos 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 así como, dado el caso, que se repita el procedimiento a partir de la primera etapa, aplicando por lo menos una variación, para su optimización, hasta que se cumpla un criterio de interrupción. La variación tiene lugar a este respecto, por ejemplo, con la ayuda de un procedimiento de optimización. Un criterio de interrupción es, por ejemplo, una tolerancia entre el desarrollo de la densidad deseado y el desarrollo de la densidad conseguido en la simulación. Además, un criterio de interrupción puede ser también una superación de un número predeterminado de iteraciones.

Especialmente conveniente es que la especificación de construcción se seleccione del grupo de la densidad del material, la geometría, el momento de giro y la distribución de la presión. El momento de giro debe entenderse a este respecto como el momento de giro que aparece en el uso previsto según la utilización de un elemento de dentado.

En particular para evitar grietas del material es conveniente recurrir a una tensión de material por lo menos en la zona de la compactación y utilizarla en particular para la valoración. Con ello se evita preferentemente que una superficie, si bien suficientemente endurecida, sin embargo sea frágil, a causa de las tensiones, y tienda a grietas por tensión.

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

En otra configuración, por lo menos una de las etapas puede sustituirse por una especificación. Preferentemente se predetermina de manera fija una geometría de útil de laminación. Con ello se considera por ejemplo el hecho de que un útil de laminación es mucho más complejo de modificar que, por ejemplo, una preforma. Otra configuración prevé un modo de proceder inverso. Preferentemente, partiendo de una forma final, se calcula una preforma o el útil de laminación para la fabricación de la forma final así como la herramienta de prensas para la fabricación de la preforma.

Además se da a conocer un producto de programa informático con medios de código de programa, que están almacenados en un medio legible por ordenador, para llevar a cabo por lo menos uno de los procedimientos descritos anteriormente, 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 memoria. Además, un medio legible por ordenador también puede estar implementado mediante una memoria remota, por ejemplo mediante una red de ordenadores.

El programa informático puede estar almacenado por ejemplo en una máquina para la compactación superficial. También puede tener lugar 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 el trayecto y/o por la fuerza, en el que pueden introducirse las coordenadas y los desarrollos de movimiento, para compactar la preforma.

Según otro aspecto se prevé un molde de herramienta de compresión con el que puede comprimirse una preforma de material de sinterización que, a continuación, se somete a compactación superficial hasta obtener una forma final. Este molde de herramienta de compresión se calcula de manera iterativa. Preferentemente, a este respecto, se parte asimismo de datos de un contorno final de la pieza con su dentado.

5 También puede estar previsto un banco de pruebas de laminación que ofrece la posibilidad de poder llevar a cabo laminaciones de prueba para las más diversas compactaciones superficiales. De este modo también puede determinarse en particular datos que, evaluados, pueden entrar en el procedimiento de cálculo. Por ejemplo, para  
10 ello, pueden formarse valores característicos adecuados a partir de una pluralidad de mediciones. De este modo, por ejemplo, pueden obtenerse valores iniciales para el cálculo iterativo de la preforma, la herramienta o la herramienta de compresión. El banco de pruebas de laminación puede tener también una medición automatizada de piezas con compactación superficial, que presentan un dentado.

15 A continuación se proponen otras ideas que pueden realizarse combinadas con los aspectos propuestos hasta ahora aunque también independientemente de los mismos.

Además se da a conocer un procedimiento para la fabricación de un dentado de material de sinterización compactado, en el que se compacta una preforma de diente precompactada por lo menos en una zona por medio de  
20 datos obtenidos de manera iterativa hasta obtener su forma final y se mejora una rugosidad en la zona con respecto a la preforma de por lo menos un 400%, ajustándose una dureza de superficie de por lo menos 130 HB. Preferentemente se ajusta una densidad de núcleo de la forma final que presenta una densidad de 7,3 g/cm<sup>3</sup>, y se aplica una dureza de superficie que presenta un desarrollo convexo desde la superficie hacia un centro de la forma final.

25 El dentado de material precompactado presenta, en una primera zona con compactación superficial, una rugosidad que es por lo menos un 400% menor que una rugosidad en una segunda zona, que presenta una compactación superficial menor o ninguna. La rugosidad R<sub>z</sub> asciende, por ejemplo en la primera zona, a menos de 1 μm. Otra configuración prevé que exista una dureza de superficie de por lo menos 700 HV [0,3] en la superficie de la forma  
30 final, mientras que a una profundidad de 0,4 mm con respecto a la superficie exista 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 del diente, existiendo una dureza de por lo menos 500 HV [0,3] a una profundidad de 0,6 mm con respecto a la superficie en la base del diente y una dureza de por lo menos 500 HV [0,3] a una profundidad de 0,8 mm con respecto a la superficie en el flanco de diente. Mediante la fabricación de la compactación superficial se posibilita el poder ajustar de manera controlada compactaciones precisas así como  
35 durezas según especificaciones deseadas.

Además, se propone un procedimiento de cálculo para el diseño de una preforma de un dentado de material de sinterización, en el que se introducen datos en el procedimiento de cálculo que se determinan a partir de una forma final predeterminada del dentado, dependiendo de por lo menos una condición de utilización de la forma final se  
40 determinan uno o varios parámetros de carga del dentado, se calcula una sobredimensión local de la preforma, que se correlaciona con una compactación esperada de la preforma en la superficie, incluyendo en el cálculo una carga del material de sinterización por debajo de la superficie.

45 Preferentemente, el cálculo se basa adicionalmente en una penetración de la herramienta en la pieza que va a producirse, pudiendo tenerse en cuenta en particular el comportamiento del material de sinterización durante la penetración y tras la penetración. Por ejemplo, el procedimiento de cálculo prevé que se tenga en cuenta una deformación elástica del material de sinterización que va a compactarse. El procedimiento de cálculo también puede prever que se tenga en cuenta una deformación elástico-plástica del material de sinterización que va a compactarse en la superficie. Preferentemente, entra en el procedimiento de cálculo una profundidad de una carga máxima por  
50 debajo de la superficie, por ejemplo en caso de una utilización de la pieza como rueda dentada transmisora de fuerza. El procedimiento de cálculo puede permitir además la entrada en el cálculo de una contracción del material de sinterización durante la sinterización. También pueden entrar asimismo en el cálculo datos determinados de manera empírica.

55 Además, se propone un procedimiento de cálculo para el diseño de una herramienta para la compactación superficial de una preforma de un dentado en particular de material de sinterización compactado para la creación de una geometría de diente predeterminada, en el que se incluyen de manera iterativa datos determinados de la geometría de diente predeterminada que va a producirse, para el cálculo de cinemáticas de máquinas herramienta teniendo en cuenta ejes de máquina asociados entre sí de una pieza, a partir de la que se forma la herramienta que  
60 va a producirse y, de por lo menos un conformador de herramienta, sus coordenadas de sistema acopladas y su movimiento respectivo. Con ello existe la posibilidad de que, en lugar de encontrar finalmente una forma definitiva mediante intentos, resultados de medición y adaptaciones repetidos del conformador de piezas, esto pueda realizarse mediante un cálculo iterativo. Esto permite ahorrar esencialmente más tiempo y hace posible tener en cuenta los parámetros de influencia más diferentes. En particular se hace posible también una simulación del diseño,  
65 de manera que por ejemplo en la simulación puede comprobarse una manera de actuar de la herramienta que va a producirse sobre una preforma diseñada.

- Según una configuración, entran en el procedimiento de cálculo condiciones de contacto entre la pieza que va a producirse y el conformador de herramienta, entre una punta y una raíz del dentado. Preferentemente, a este respecto, también entra en el cálculo en la zona de una raíz del dentado una tensión máxima en la superficie.
- 5 Además, existe la posibilidad de que en la zona de un flanco del dentado entre una tensión máxima por debajo de la superficie en el cálculo. Este procedimiento es adecuado, en particular, para materiales de sinterización pero también para piezas de acero o piezas de otros materiales.
- 10 Además se propone una herramienta de matriz con una geometría de prensa para la fabricación de una preforma de un dentado de material de sinterización, presentando la geometría de prensa un desarrollo adaptado a una compactación superficial del dentado, con por lo menos una elevación, que genera por lo menos en la zona del dentado de la preforma una depresión, que puede rellenarse con material de sinterización durante la compactación superficial.
- 15 La elevación en un lado frontal de la preforma da lugar, preferentemente, a 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 así como otras dimensiones. Otra configuración prevé, en lugar de una elevación unilateral, que esté prevista una elevación bilateral, para dar lugar en ambos lados frontales del diente en cada caso a una depresión. La elevación está dispuesta, según un perfeccionamiento, en una zona de la geometría que, en
- 20 una cabeza de diente de la preforma, da lugar a una depresión, donde la elevación presenta una dimensión, que se reduce por lo menos la depresión formada, por lo menos parcialmente, un crecimiento de la cabeza de diente debido al mecanizado de la preforma a la forma final mediante la compactación superficial. De esta manera puede calcularse, y en particular fabricarse, por ejemplo, una preforma con por lo menos una depresión en un lado frontal de un dentado para la compensación de una expulsión de material durante una compactación superficial de una
- 25 superficie de rodadura del dentado. De esta manera también puede calcularse, y en particular fabricarse, una preforma con por lo menos una depresión en una cabeza de diente de un dentado para por lo menos reducir un crecimiento de la cabeza de diente en altura durante una compactación superficial de por lo menos los flancos del dentado. El procedimiento de cálculo para la determinación de una geometría de una preforma o de una herramienta de matriz prevé, preferentemente, que la geometría se determine partiendo de datos de una forma final de la preforma y por lo menos se calcule una depresión o elevación que, por lo menos parcialmente, dé lugar a una compensación de un desplazamiento de material durante la compactación superficial.
- 30 Además, se propone un procedimiento para la compactación superficial de un dentado, en el que se calcula de manera iterativa un número de veces que un movimiento de compactación de una herramienta de moldeo debe repetirse para la compactación superficial de una superficie en la preforma. Preferentemente se calcula de manera iterativa un paso de los rodillos hasta alcanzar una densidad superficial predeterminada. Un perfeccionamiento prevé que un avance de la herramienta de moldeo se calcule de manera iterativa. Según una configuración tiene lugar menos de 20 veces un paso de los rodillos sobre la preforma para conseguir la geometría predeterminada de una forma final de la compactación superficial. Preferentemente tiene lugar menos de 10 veces el paso de los rodillos. En
- 35 particular se lleva a cabo menos de 6 veces un paso de los rodillos sobre la preforma, hasta que se consigue una geometría predeterminada de una forma final de la compactación superficial. A este respecto ha de tenerse en cuenta que al alcanzarse todavía no tiene lugar una finalización de la compactación superficial. Más bien se sigue desplazando a continuación varias veces, en particular menos de 25 veces, preferentemente menos de 15 veces, la herramienta sobre la superficie. Con ello se garantiza una precisión de la forma de la superficie.
- 40 Además se propone un procedimiento en el que se lleva a cabo una rodadura reversible en un dentado de material de sinterización, para compactar la preforma hasta obtener la forma final de una compactación superficial. Preferentemente, antes de la inversión de la dirección, se lleva a cabo una breve descarga de la preforma mediante la herramienta de moldeo. Ha resultado que mediante la reversión, es decir, mediante la inversión del movimiento, puede conseguirse una compactación homogeneizada. Además, se consigue minimizar aún más los problemas durante la fabricación, al reducir la presión de la herramienta sobre la pieza, antes de que tenga lugar la inversión del movimiento. A este respecto la herramienta puede permanecer en contacto con la pieza. Sin embargo, también puede soltarse brevemente de la superficie.
- 45 Además, se propone una compactación superficial de una pieza con por lo menos un dentado de material de sinterización, en la que una primera superficie de la pieza se ha compactado con otro procedimiento diferente del de una segunda superficie de la pieza. Preferentemente un primer dentado de la pieza presenta otra compactación que la de un segundo dentado de la pieza. Un perfeccionamiento prevé que un dentado interno de la pieza experimente otra compactación superficial que un dentado externo de la pieza. También existe la posibilidad de que un dentado
- 50 externo se haya sometido a una compactación superficial por medio de un procedimiento de rodadura, mientras que una segunda superficie sea una perforación, que se ha sometido a una compactación superficial con otro procedimiento. Preferentemente, una perforación en la pieza obtiene, tras una compactación superficial, una superficie endurecida y a continuación se le da su forma final. Esto permite el uso de la perforación para un árbol o un eje. Puede conseguirse una mejora de la precisión porque tras un temple del dentado se realiza una compactación superficial.
- 55
- 60
- 65

Además, se propone un árbol con por lo menos un primer y un segundo dentado, estando el primer dentado rodado a partir de material de sinterización y presentando una compactación superficial. A continuación se indican características con respecto al árbol o a los dentados. A este respecto para otras configuraciones, puede utilizarse en particular también la otra divulgación con respecto al dentado, los materiales, las etapas de fabricación, etc.

5 Según una configuración el árbol presenta un segundo dentado, que se ha producido según otro procedimiento que el primer dentado. Esto permite un gran número de combinaciones, que para cada caso de solicitud prevén diferentes soluciones de material. El segundo dentado forma, según otra configuración, una pieza con el primer dentado. Por ejemplo, los dos dentados pueden haberse producido conjuntamente en una máquina de compresión. 10 Preferentemente el primer y el segundo dentado se han calculado de manera iterativa y producido correspondientemente. Según una configuración la fabricación puede tener lugar, consecutivamente, según otra configuración, sin embargo, también de manera simultánea. En particular esto es válido también para otras etapas de mecanizado como, por ejemplo, una compactación superficial.

15 Un perfeccionamiento prevé, que el segundo dentado presente una superficie endurecida sin compactación superficial. Para algunos casos de carga es suficiente la densidad obtenida mediante la sinterización o la resistencia propia del material utilizado. Esto es válido, por ejemplo, para aplicaciones en bombas.

Además ha demostrado ser ventajoso que por lo menos el primer dentado presente, por lo menos en un diente, en cada caso diferentes pendientes de flanco a la misma altura del diente. Esto es ventajoso en aplicaciones en las que se predetermina un sentido de giro principal y, en particular, únicamente un sentido de giro del árbol. Con ello las diferentes pendientes de flanco pueden diseñarse de manera que reduzcan el desgaste y el ruido.

20 Otra configuración prevé que el segundo dentado esté forjado. Adicionalmente puede presentar una compactación superficial. Este dentado puede recibir, por ejemplo, una mayor transmisión de fuerza que el primer dentado.

25 Preferentemente, el segundo dentado es de un material diferente que el del primer dentado. Por ejemplo, el segundo dentado es de acero. Sin embargo, el segundo dentado puede estar compuesto por otro material de sinterización que el del primer dentado. Adicionalmente el árbol también puede ser de material de sinterización. Por ejemplo, puede presentar el mismo material que el primer dentado. El árbol también puede formarse por lo menos junto con el primer dentado, es decir, comprimirse a partir de material de polvo, preferentemente en una matriz común.

30 Un procedimiento a modo de ejemplo para la fabricación del árbol descrito anteriormente puede prever también que por lo menos el primer dentado reciba una compactación superficial y que una perforación para el alojamiento del árbol se someta a compactación superficial, temple y a continuación bruñido, antes de que el árbol y el primer dentado se unan entre sí. Para ello tiene lugar preferentemente, partiendo de una forma final del árbol con el primer dentado, un cálculo iterativo de una preforma del primer dentado.

35 Aplicaciones preferidas de un árbol de este tipo resultan tanto en la técnica de los vehículos automóviles como también en la construcción de engranajes así como en aparatos domésticos.

Además se utiliza una preforma para la fabricación de un dentado de material de sinterización, presentando la preforma una sobredimensión negativa. Preferentemente la sobredimensión negativa está dispuesta por lo menos en un flanco de un diente del dentado. En particular la sobredimensión negativa puede discurrir de manera 45 asimétrica a lo largo del flanco.

Un perfeccionamiento prevé que en cada flanco de un diente esté prevista una sobredimensión negativa. Por ejemplo, un diente presenta a la misma altura una primera sobredimensión negativa en un primer flanco y una segunda sobredimensión negativa en un segundo flanco, discurriendo el primer y el segundo flanco de manera 50 asimétrica uno respecto del otro.

Preferentemente, la sobredimensión negativa está dispuesta entre una zona de cabeza del diente y una sobredimensión en un flanco del diente. De manera adicional o alternativa la sobredimensión negativa puede estar dispuesta en una zona de esquina del pie de diente. Existe además la posibilidad de que una pendiente de flanco de 55 los flancos de un diente sea distinta.

Además de un dentado externo u otro tipo de dentado se realiza una compactación superficial también en el caso de un dentado, que sea un dentado interno. La preforma se convierte, finalmente, en una rueda dentada con compactación superficial.

60 Un perfeccionamiento prevé un procedimiento para la fabricación de un dentado de un material de sinterización, asignándose a una preforma por lo menos una sobredimensión negativa determinada mediante cálculo iterativo, que se llena durante una compactación superficial del dentado por lo menos parcialmente mediante desplazamiento del material de sinterización. Preferentemente se desplaza un material de sobredimensión contiguo a la sobredimensión 65 negativa al interior de la sobredimensión negativa. La preforma puede someterse a compactación superficial hasta

obtener la forma final pretendida, teniendo lugar de manera opcional un temple y/o un mecanizado de superficie. Como mecanizado de precisión se considera tanto un bruñido como un amolado.

5 Preferentemente el diseño de la sobredimensión negativa tiene lugar mediante un cálculo iterativo, durante el que una simulación de la compactación superficial en la preforma determina si la sobredimensión contigua de su forma está diseñada de tal manera que la sobredimensión negativa pueda alisarse hasta dar el contorno final pretendido. Para ello se pone a disposición una máquina para el cálculo y/o para la realización de una compactación superficial de un dentado, pudiendo introducirse una cinemática calculada, mediante la que, a través de la compactación superficial, puede alisarse una sobredimensión negativa en un flanco del dentado hasta obtener el contorno final pretendido.

Además se propone un procedimiento para la fabricación de una compactación superficial en un dentado, recibiendo por lo menos dos preformas, simultáneamente, una compactación superficial en un dispositivo.

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

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

20 Además, se propone un dispositivo para la fabricación de una compactación superficial en un dentado, pudiendo sujetarse y mecanizarse simultáneamente en el dispositivo por lo menos dos preformas para la compactación superficial.

25 Está previsto, por ejemplo, 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 paralelos 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 disponerse sobre un árbol común, presentando la herramienta una longitud mayor que una longitud sumada de por lo menos las dos preformas. Preferentemente, las preformas pueden estar en contacto entre sí con sus superficies frontales. Otra configuración prevé que entre las preformas esté dispuesta una distancia, sobresaliendo la herramienta, a lo largo del árbol, por encima de las superficies frontales externas de las preformas.

35 Se propone un componente con un dentado con compactación superficial de material de sinterización, presentado el componente, visto en una sección transversal, un gradiente con respecto a los materiales de sinterización utilizados.

40 El componente presenta, preferentemente, un gradiente que presenta una función escalonada. Los materiales de sinterización 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 de sinterización. Otra configuración prevé que en una zona no exista un límite fijo sino una transición gradual. Puede estar previsto en particular que el componente presente diferentes materiales de sinterización, que se extienden unos en otros, sin presentar una zona de mezcla marcada con gradientes ascendentes o descendentes.

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

50 Otra configuración presenta un componente que presenta un primer dentado con un primer material de sinterización y un segundo dentado con un segundo material de sinterización.

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

55 Por ejemplo, un primer material de sinterización puede estar dispuesto en una zona externa del componente y formar el dentado, y un segundo material de sinterización está dispuesto en la zona interna del componente y forma una perforación.

60 Además se propone un procedimiento para la fabricación de un dentado con compactación superficial en un componente, en el que se introduce un primer material de sinterización en un molde, antes de que se añada en segundo material de sinterización, a continuación se realiza una compresión y una sinterización y, mediante una compactación superficial del dentado, se compacta únicamente uno de los dos materiales de sinterización, mientras que el otro material de sinterización no experimenta modificación alguna.

65 Un perfeccionamiento prevé que se lleve a cabo una segunda compactación superficial, que afecta únicamente al material de sinterización todavía sin compactación superficial. Está previsto, preferentemente, que el primer material

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

5 Un perfeccionamiento del procedimiento para la fabricación de un dentado con compactación superficial en un componente prevé introducir un primer material de sinterización en un molde, antes de que se añada un segundo material de sinterización, a continuación realizar una compresión y sinterización y, mediante una compactación superficial del dentado, compactar el primer y el segundo material de sinterización.

10 Para la realización de los procedimientos ha resultado ventajoso determinar de manera iterativa un desarrollo del movimiento para la compactación superficial, teniendo en cuenta un comportamiento del material, de por lo menos uno de los dos materiales de sinterización.

15 Un perfeccionamiento para ambos procedimientos prevé que entre el molde, en particular una matriz, y un material de sinterización que va a introducirse actúe un giro relativo, de manera que el material de sinterización se acumule, dependiendo de la velocidad del giro relativo, en una zona externa del molde.

Por lo demás, también puede estar previsto que el primer y el por lo menos segundo material de sinterización se añadan al molde con solapamiento, por lo menos durante un espacio de tiempo.

20 Además se remite a la patente US nº 5.903.815. De éste se desprenden diferentes materiales de sinterización, condiciones para materiales de sinterización, moldes, fundamentos con respecto al procesamiento de dos o más materiales de sinterización, aplicaciones y etapas de procedimiento.

25 Además se propone que, en particular en el caso de una rueda dentada forjada, rueda para cadenas o corona dentada, el procedimiento de fabricación, además de la etapa de compactación superficial del dentado, prevea también un amolado o un bruñido de los flancos de diente compactados o de los pies de diente. Preferentemente, mediante el forjado, se consigue una densidad de por lo menos  $7,6 \text{ g/cm}^3$  como densidad de núcleo. La compactación superficial puede dar lugar por ello a una compactación completa y/o a una precisión de la forma del dentado. Un perfeccionamiento prevé que para una etapa de mecanizado por arranque de viruta, tras la compactación superficial, una sobredimensión para esta etapa se encuentre en un intervalo de  $4 \mu\text{m}$  a  $8 \mu\text{m}$  de material por encima de la medida final. Si en lugar de un forjado se lleva a cabo una compresión, sinterizado y endurecido, en particular una cementación, se pone a disposición para un bruñido preferentemente una sobredimensión de  $30 \mu\text{m}$  a  $50 \mu\text{m}$  y para un amolado  $50 \mu\text{m}$  a  $0,3 \text{ mm}$ , preferentemente  $0,1 \text{ mm}$  a  $0,2 \text{ mm}$  tras la compactación superficial. Mediante el cálculo iterativo se hace posible determinar los intervalos y sobredimensiones con anterioridad y su traducción posterior en el procedimiento de este modo. Para una perforación en la rueda dentada, rueda de cadena o corona dentada se prevé asimismo, preferentemente, una compactación superficial, seguida de un temple y a continuación preferentemente un bruñido. La perforación puede disponer para ello asimismo, tras la compactación superficial, todavía de una sobredimensión entre  $30 \mu\text{m}$  y  $50 \mu\text{m}$ .

40 Ha resultado otra ventaja cuando se produce una lubricación durante la compactación superficial. Además de la utilización de emulsiones también puede lubricarse, en particular, con aceites. Esto se prefiere durante una laminación en caliente, por ejemplo a temperaturas superiores a los  $220^\circ\text{C}$ . Además se propone llevar a cabo la laminación en caliente a una temperatura entre  $500^\circ\text{C}$  y  $600^\circ\text{C}$ , utilizándose preferentemente una refrigeración de aceite para, por un lado, lubricar y, por el otro, refrigerar también la herramienta.

45 A continuación se explica en detalle la invención, a modo de ejemplo, mediante el dibujo. Sin embargo, estas configuraciones representadas no deben concebirse como limitativas del alcance y con respecto a los detalles de la invención. Más bien las características que se deducen de las figuras no están limitadas en cada caso a las configuraciones individuales. Más bien estas características pueden combinarse con otras características, respectivamente, indicadas en el dibujo y/o en la descripción incluida la descripción de las figuras, para dar en cada caso perfeccionamientos no representados con mayor detalle, en los que:

La figura 1 muestra una disposición de rodadura,

55 la figura 2 muestra un primer diente,

la figura 3 muestra un segundo diente,

la figura 4 muestra un tercer diente,

60 las figuras 5 a 7 muestran diferentes desarrollos de sobredimensión de diferentes elementos de dentado,

la figura 8 muestra un primer esquema del procedimiento,

65 la figura 9 muestra un segundo esquema del procedimiento,

la figura 10 muestra un desarrollo de sobredimensión de un elemento de dentado de una herramienta de rodadura,

la figura 11 muestra una vista esquemática de una depresión calculada en un lado frontal,

5 la figura 12 muestra una vista esquemática de casos extremos de herramientas calculados,

la figura 13 muestra una vista esquemática de un modo de proceder durante el cálculo iterativo y combinaciones durante una simulación,

10 la figura 14 muestra una vista de desarrollos de la densidad dependiendo de diferentes densidades de partida de las preformas utilizadas,

la figura 15 muestra una vista general de los defectos determinados, que aparecen para diferentes etapas de compactación superficial y que caracterizan simultáneamente el comportamiento del material,

15 la figura 16 muestra un desarrollo de la dureza en HV en un flanco de un dentado en diferentes etapas de compactación superficial,

20 la figura 17 muestra un desarrollo de la dureza en HV en una zona de raíz de un dentado en diferentes etapas de compactación superficial,

la figura 18 muestra una vista esquemática de diferentes desarrollos de sobredimensión calculados para diferentes densidades,

25 la figura 19 muestra una representación esquemática de parámetros que pueden entrar en el cálculo iterativo.

La figura 1 muestra, en una vista esquemática, una disposición de rodadura a modo de ejemplo. Un primer útil de laminación 101 con un primer dentado 102 está montado de manera giratoria alrededor de un primer eje 103 en un sentido de rotación 104. El primer dentado 102 se engrana con un segundo dentado 105 de una preforma 106. La preforma 106 está montada de manera giratoria alrededor de un segundo eje 107. Correspondientemente resulta un segundo sentido de rotación 108. Además, el segundo dentado 105 se engrana con un tercer dentado 109 de un segundo útil de laminación 110. Este segundo útil de laminación 110 está montado de manera 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 llevar a cabo un movimiento de avance. Por ejemplo, el tercer eje 111 puede desplazarse, en una dirección de desplazamiento 113 a lo largo de una línea de unión 114 del primer eje 103, el segundo eje 107 y el tercer eje 111. Por ejemplo, puede llevarse a cabo una operación de laminación calibrado. A este respecto se compactan solo ligeramente en particular flancos de dientes y en particular no se compactan las bases de los dientes. A este respecto se produce una compactación superficial en una zona deseada. Durante una compactación superficial, por otro lado, también puede realizarse una compactación superficial de únicamente o también de manera adicional la base del diente. Por ejemplo, para ello, tiene lugar durante una operación de laminación, un desplazamiento de avance en la dirección de la dirección de desplazamiento 113. En particular, mediante la primera y la segunda herramientas de laminación 101, 110, también se compacta una zona de los pies de diente de la preforma 106. Para la regulación de la primera y/o del segundo útil de laminación 110 así como para la aplicación de una presión necesaria para una operación de laminación está previsto un dispositivo de regulación, no representado, preferentemente con un engranaje. De este modo pueden aplicarse en particular también presiones muy elevadas.

La figura 2 muestra un primer diente 201 de un elemento de dentado correspondiente 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 se caracteriza a este respecto por un primer círculo interior 202, un primer círculo útil interior 203, un primer círculo de rodadura 204 y un primer círculo exterior 205. En un primer flanco 206 el primer diente 201 presenta, antes de una operación de laminación, un primer desarrollo de sobredimensión 207. Tras una operación de laminación finalizada resulta un primer desarrollo de medida final 208, resultando correspondientemente una primera película 209 de laminación compactada. Representado de manera esquemática, ésta está limitada por una primera línea de límite 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 forja de polvo.

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 asimismo de una rueda dentada. El segundo diente 301 y la rueda dentada están caracterizados por un segundo círculo exterior 302, un segundo círculo de rodadura 303, un segundo círculo útil interior 304 y un segundo círculo interior 305. Para conseguir un desarrollo de compactación idéntico en un segundo flanco 306 y en un tercer flanco 307 están previstos un segundo desarrollo de sobredimensión 308 y un tercer desarrollo de sobredimensión 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 límite de compactación 312 y una tercera línea de límite de compactación 313. A causa de las

fuerzas diferentes, debidas al movimiento de rodadura en un sentido de rotación, en el segundo flanco 306 y en el tercer flanco 307 el segundo desarrollo de sobredimensión 308 y el tercer desarrollo de sobredimensión 309 se configuran de manera diferente. La acción diferente de fuerzas en los flancos de diente 306, 307 durante una operación de rodadura se ilustra mediante las direcciones de velocidad de deslizamiento representadas. En el

5 segundo flanco 306 resultan una primera dirección de velocidad de deslizamiento 314 y una segunda dirección de velocidad de deslizamiento 315. Éstas están orientadas, partiendo del segundo círculo de rodadura 303, en la dirección del segundo círculo exterior 302 o en la dirección del segunda círculo interior 305. En el tercer flanco 307, por el contrario, resulta una tercera dirección de velocidad de deslizamiento 316 y una cuarta dirección de velocidad de deslizamiento 317, que están orientadas una contraria a otra.

10 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 asimismo de una rueda dentada. La rueda dentada y el tercer diente 401 se caracterizan de nuevo por un tercer círculo exterior 402, un círculo útil exterior 403, un tercer círculo de rodadura 404, un tercer círculo útil interior 405 así como un tercer círculo interior 406. En el caso del tercer diente 401 mostrado se trata de un dentado con un destalonado exterior, preferentemente en forma de un redondeado exterior. Sin embargo, en esta zona son posibles también otras geometrías. A este respecto en una zona de cabeza de diente 401.1 entre el tercer círculo exterior 402 y el círculo útil exterior 403, se ha reducido un perfil de diente. Esto conduce a que en esta zona el diente no se engrane con un contradentado evolvente. En este caso una zona de diente activa únicamente se sitúa en la zona entre el círculo útil exterior 403 y el círculo útil interior 405 o entre el círculo útil exterior 403 y el

15 20 tercer círculo interior 406. Un cuarto desarrollo de sobredimensión 407 da como resultado, tras una operación de laminación, una cuarta línea de límite de compactación 408. Por lo demás se consigue en el cuarto flanco 409 un cuarto desarrollo de medida final 410.

25 La figura 5 muestra un desarrollo de sobredimensión entre dos dientes contiguos de un elemento de dentado no representado. En el caso de este elemento de dentado se trata de nuevo de una rueda dentada. La rueda dentada y los dientes se caracterizan por un cuarto círculo interior 502, un cuarto círculo interior útil 503 de la preforma, un quinto círculo interior útil 504 de la preforma tras una operación de amolado, un cuarto círculo exterior 505 tras una operación de fresado y un quinto círculo exterior 506 tras una operación de acabado. Tras una operación de laminación resulta un quinto desarrollo de medida final 507. Sobre el eje de abscisas está indicada una dimensión lateral en milímetros. Sobre el eje de ordenadas está indicada la dimensión lateral, orientada perpendicularmente, también en milímetros. El dentado discurre a este respecto por completo en el plano del dibujo.

30

35 La figura 6 muestra una composición de otros desarrollos de sobredimensión. Sobre el eje de abscisas está representada la longitud de suelo nominal 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 hacia una cabeza de diente de un diente contiguo. Sobre el eje de abscisas superior está representada, correspondientemente, la longitud de arco absoluta de la línea de flanco correspondiente en milímetros. El eje de ordenadas izquierdo indica una sobredimensión en milímetros. El eje de ordenadas derecho describe el radio correspondiente del dentado correspondiente. Se representa un sexto desarrollo de sobredimensión 601, un séptimo desarrollo de sobredimensión 602 y un octavo desarrollo de sobredimensión 603. Por lo demás está representado un radio 604 correspondiente del dentado correspondiente. El sexto desarrollo de sobredimensión 601 y el octavo desarrollo de sobredimensión 603 se realizan a este respecto de manera simétrica con respecto a una línea de simetría de base del diente 605. El séptimo desarrollo de sobredimensión 607 está diseñado, por el contrario, de forma asimétrica. En las proximidades de la línea de base de simetría del diente 605, es decir en la zona de la base del diente, las sobredimensiones presentan en cada caso un mínimo local. Con ello se favorece una reducción de un riesgo de grieta por tensión.

40 45

50 La figura 7 muestra otro desarrollo de sobredimensión. Se muestra un noveno desarrollo de sobredimensión, que discurre de manera asimétrica desde una cabeza de diente izquierda 702 hacia una cabeza de diente derecha 703. Como ya se ha mostrado en la figura 6, también en este caso una sobredimensión en la zona de una base del diente 704 es más pequeña que en la zona del quinto flanco 705 y el sexto flanco 706. Esto sirve, en particular, para evitar grietas por tensión.

55 La figura 8 muestra un primer esquema del procedimiento. Partiendo de una especificación 801 objetivo, que comprende la geometría, un momento de giro que va a transmitirse de una rueda dentada y una distribución de la presión, se genera, con un primer módulo de generación de geometría 802, una geometría de un útil de laminación. Además se genera, tanto mediante la especificación 801 objetivo como mediante la geometría del útil de laminación, 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 rodadura. A este respecto se simula tanto una cinemática de la operación de rodadura como una operación de compactación, que se produce durante la operación de rodadura. A este respecto se tiene en cuenta en particular una redistribución de material, tal como se bosqueja por ejemplo en la figura 3. La simulación de una deformación plástica tiene lugar, a este respecto, por ejemplo mediante un método de elementos finitos. Este puede acoplarse con un programa CAD. Opcionalmente puede tenerse en cuenta un segundo módulo de simulación 805 para la simulación de una deformación. En este módulo entra tanto, por un lado, la especificación 801 objetivo como la geometría de la preforma. El segundo módulo de simulación 805 hace posible, además, una corrección de la geometría determinada de la preforma. En particular pueden realizarse de forma

60 65

repetida 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 en un bucle de optimización.

5 La figura 9 muestra un segundo esquema del procedimiento. En una primera etapa 901, se genera un noveno desarrollo de sobredimensión 902 de un perfil de diente 903. A continuación, en una segunda etapa 904, se genera un segundo perfil de diente 905 de un tercer útil 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 en el segundo perfil de diente del útil de laminación 905 y la compactación que resulta de ello. A continuación, dado el caso, se repiten la primera, segunda y tercera etapas 901, 904, 907 en una variación 908.

15 La figura 10 muestra un desarrollo de sobredimensión de un elemento de dentado de un útil de laminación. Se representa un décimo desarrollo de sobredimensión 1001 de un quinto diente 1002 de un útil de laminación no representado. En un séptimo flanco 1003 y en un octavo flanco 1004 del quinto diente 1002 está prevista una sobredimensión diferente. En el séptimo flanco 1003 está prevista una adición de material, que se indica mediante una primera flecha 1005. Por el contrario en el octavo flanco 1004 está previsto un destalonado de diente, que se indica mediante la segunda flecha 1006. La sobredimensión se refiere en este ejemplo a un perfil regular de un dentado evolvente. Por las configuraciones asimétricas de los dos flancos de diente 1003, 1004 se tiene en cuenta en particular una carga asimétrica del material de un elemento de dentado que va a compactarse con ello. Con respecto a la forma final de la pieza, también puede conseguirse un perfil simétrico de ambos flancos de un diente mediante este útil de laminación, para lo que se llevan a cabo compensaciones en el intervalo preferentemente menor que 0,1  $\mu\text{m}$ .

25 La figura 11 muestra una vista esquemática de una depresión calculada en un lado frontal de un dentado. La depresión sirve para minimizar por lo menos un crecimiento del desplazamiento de material de sinterización, conseguido mediante la compactación superficial, y el crecimiento que se produce con ello del diente a lo alto y/o a lo ancho, cuando no para compensarlo. La forma de la depresión depende de la sobredimensión y de las dimensiones del diente. La forma puede optimizarse de manera iterativa a lo largo del procedimiento de cálculo. Una simulación hace posible una estimación del comportamiento real posterior de la preforma.

30 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. Al tener en cuenta condiciones de rodadura, parámetros de sobredimensión y otros factores de influencia pueden determinarse de manera iterativa las formas de herramienta representadas en el centro y a la derecha.

35 La figura 13 es una vista esquemática de un modo de proceder en el cálculo iterativo y las combinaciones durante una simulación. Partiendo de los datos finales predeterminados de la pieza y de su dentado pueden modelarse las cinemáticas de máquina. A este respecto, por ejemplo, se parte de los ejes de máquinas asignados unos a otros. A través de las cinemáticas y las combinaciones funcionales puede llevarse a cabo, a continuación, mediante los grados de libertad existentes, una optimización de la herramienta que va a configurarse. A este respecto, se remite de nuevo a la figura 12. Los ejemplos allí representados presentan desventajas correspondientes, por ejemplo una región de raíz muy débil en una representación central o una configuración de cabeza demasiado puntiaguda en la representación derecha. Mediante parámetros de influencia adicionales tales como, por ejemplo, consideraciones acerca de la resistencia y/o desarrollos de la tensión en el material, a continuación puede llevarse a cabo una iteración para un contorno de la herramienta adecuado para el perfil de exigencia correspondiente. Para la herramienta para la fabricación de la preforma se toma como punto de partida, por ejemplo, la geometría final determinada con las sobredimensiones calculadas.

50 La figura 14 muestra una vista de desarrollos de la densidad dependiendo de las diferentes densidades de partida de las preformas utilizadas. Si la densidad de la preforma se modifica en su núcleo así como en el desarrollo hacia fuera, resultan influencias con respecto al desarrollo de compactación superficial. Esto se deduce de la ilustración derecha de la figura 14. Mediante variaciones de la preforma correspondiente puede influirse en gran medida también en el desarrollo de la densidad tras una compactación superficial. Por ello la densidad de núcleo de partida así como la forma de la preforma representan parámetros importantes durante la iteración y el cálculo.

55 La figura 15 ofrece una vista general a modo de ejemplo sobre los defectos determinados, que aparecen en diferentes etapas de compactación superficial y que caracterizan simultáneamente el comportamiento del material. El defecto se clasifica en clases de defectos según la norma DIN 3972 o DIN 3970. Un punto importante en la determinación de una compactación superficial adecuada mediante rodadura es la modificación del perfil de la herramienta que rueda. Mediante la aplicación del procedimiento de cálculo indicado más arriba para la preforma y el útil de laminación es posible, basándose en los resultados determinados, modificar el útil de laminación. Esto se representa en la figura 15 en una preforma con una densidad de núcleo de 7,3  $\text{g/cm}^3$ , que estaba engranada con un conjunto de herramientas de laminación no modificado y se sometió a compactación superficial. La geometría de la rueda dentada varía dependiendo de un movimiento de avance del útil de laminación. El objetivo es alcanzar el contorno final pretendido, como se ha predeterminado. De las ilustraciones de la figura 15 pueden desprenderse diferentes estados para movimientos de avance de diferente extensión. A modo de ejemplo a la izquierda se

representa el defecto de ángulo de perfil, en el centro el defecto de forma de perfil completo y a la derecha el defecto de forma. Éstos se midieron en la rueda dentada producida en cada caso. De este modo, por ejemplo, una reducción de grosor de diente de 0,27 mm lleva a una desviación de ángulo de perfil correspondiente a la clase 7 según la norma DIN. Con el fin de conseguir una forma final necesaria de la reducción de grosor de diente es necesario, sin embargo, un avance de 0,4 mm. Esto lleva, sin embargo, a un aumento de los defectos correspondientes. Esto significa que el contorno final fabricado pasa a situarse en los otros valores fuera de las clases de calidad necesarias. Por ello se hace necesaria una variación de la geometría de la herramienta. Teniendo en cuenta los valores detectados así como valores de entrada, a continuación, puede determinarse una nueva herramienta, llevar a cabo de nuevo los ensayos y, de esta manera, determinar de manera iterativa una geometría optimizada para la herramienta. Mediante el cálculo se hace posible determinar, mediante por ejemplo dos o también sólo una iteración, un contorno definitivo para la herramienta.

La figura 16 muestra un desarrollo de la dureza en HV aplicada en un flanco de un dentado por la distancia desde la superficie sobre el eje x en [mm]. En diferentes etapas de compactación superficial, mediante selección adecuada de la sobredimensión así como del movimiento de avance, puede influirse en el desarrollo del perfil de la dureza. Por ejemplo, el desarrollo puede ser, por lo menos parcialmente, convexo o también cóncavo. Como se ha indicado, la preforma designada mediante AVA7-1 presentó una sobredimensión mayor que la preforma designada mediante AVA4-2. Ambas presentan un desarrollo de durezas opuesto: mientras que en la primera parte hasta que se alcanza 550 HV AVA7-1 presenta una forma más bien convexa, AVA4-2 presenta un desarrollo más bien cóncavo. Esto varía al pasar por debajo de 550 HV.

La figura 17 muestra un desarrollo de la dureza en HV en una zona de raíz de un dentado durante diferentes etapas de compactación superficial. A causa de la sobredimensión más pequeña en comparación con la sobredimensión de flanco así como a causa de la geometría resulta otro desarrollo de la dureza. La dureza cae al principio de manera más empinada, sin embargo a continuación se transforma aproximadamente en un desarrollo recto con una inclinación ya únicamente pequeña.

La figura 18 muestra una vista esquemática de diferentes desarrollos de sobredimensión calculados para diferentes densidades basándose en un grosor de diente final. Sobre el eje y está trazado el diámetro. Sobre el eje x se indica la sobredimensión.  $D_a$  o  $d_a$  indica el diámetro de círculo útil exterior o el diámetro de círculo exterior, 0 es una especificación de una sobredimensión, por ejemplo mediante un valor en el círculo primitivo,  $d_b$  es el diámetro del círculo de base. A indica el intervalo de valores preferidos para la zona de círculo de rodadura. B reproduce un intervalo crítico, ya que aquí ya puede aparecer un fallo del material durante la laminación.

La figura 19 muestra una representación esquemática de parámetros, que pueden entrar en un cálculo iterativo. Estos pueden ser, en particular, lugares de esfuerzo máximo. Como está representado en la foto izquierda, en el flanco pueden aparecer daños por picadura. Por ello se recurre, preferentemente, a un desarrollo de tensión de comparación, en el que se aplica: aparece una tensión máxima por debajo de la superficie, en particular en la zona de un deslizamiento negativo, por ello preferentemente por debajo del diámetro de círculo de rodadura indicado  $d_{w1}$ . La foto derecha indica una rotura de diente a causa de una carga de flexión aumentada. De aquí se obtiene que para el modelo de cálculo, se determina y se tiene en cuenta un lugar del máximo esfuerzo de pie de diente. Éste puede determinarse, por ejemplo, mediante la tangente de  $30^\circ$  según la norma DIN o mediante la parábola de Lewis según AGMA. Para la tensión de comparación se supone, preferentemente, que aparece una tensión máxima en la superficie.

La figura 20 muestra, en una vista esquemática, otra posibilidad de cómo pueden compactarse, por ejemplo, simultáneamente por lo menos dos preformas. Además del movimiento de la herramienta, según una configuración, también puede tener lugar un movimiento de las preformas en la dirección de la herramienta. Además, existe la posibilidad de que en un eje de preforma se dispongan dos o más preformas.

La invención puede utilizarse, por ejemplo, en ruedas dentadas de árboles de levas, en ruedas dentadas planetarias, en ruedas dentadas satélites, en ruedas dentadas de accionamiento, en ruedas dentadas de compensación, en ruedas dentadas de engranaje, en ruedas dentadas de acoplamiento, en ruedas dentadas de bomba, en ruedas dentadas de dientes rectos, en ruedas dentadas de dientes oblicuos, en motores eléctricos, en máquinas de combustión internas, en engranajes de regulación, en dentados externos o internos, en engranajes cilíndricos externos o internos con dientes rectos u oblicuos. Otra configuración prevé una rueda dentada de metal sinterizado. Lo restante 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 revestimiento, que en particular actúe minimizando el ruido. Las piezas con dentado pueden utilizarse en particular en la técnica del automóvil, en la técnica de motores, en la técnica de engranajes, en dispositivos de ajuste, en dispositivos de transmisión de fuerza, en juguetes, en dispositivos de mecánica de precisión, en aparatos domésticos, en particular en aparatos domésticos móviles, y otros.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento para la fabricación de un dentado de engranaje recto de material de sinterización compactado, en el que, por medio de unos datos determinados de manera iterativa, una preforma de diente precompactada se compacta en por lo menos 0,05 mm en su superficie hasta obtener su forma final, y se consigue una calidad de la forma final de por lo menos  $f_{H\alpha} = 4$ ,  $F_{\alpha} = 7$  y  $f_{f\alpha} = 7$ , teniendo una iteración parámetros en cuenta, que se refieren a un comportamiento del material durante una compactación superficial de la forma de diente, y la iteración para la determinación de una preforma parte de unos datos introducidos, que se obtienen de una especificación de la forma final.
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque se utiliza por lo menos un útil de laminación, que presenta la misma calidad que la forma final creada posteriormente.
- 15 3. Dentado de engranaje recto, fabricado de acuerdo con un procedimiento según la reivindicación 1, en el que el dentado de material compactado presenta además una compactación superficial y en el que se ajusta una calidad de la forma final del dentado comprendida en el rango de por lo menos  $f_{H\alpha} = 4$ ,  $F_{\alpha} = 7$  y  $f_{f\alpha} = 7$ .
- 20 4. Dentado de engranaje recto según la reivindicación 3, caracterizado porque el dentado tras la compactación superficial, sin una etapa de postprocesado adicional por arranque de viruta, presenta esta calidad de la forma final.
- 25 5. Dentado de engranaje recto según la reivindicación 3 ó 4, caracterizado porque una pieza con el dentado presenta una densidad de núcleo de por lo menos  $7,4 \text{ g/cm}^3$  y una densidad superficial, que por lo menos en una zona de un flanco de diente es máxima, extendiéndose la densidad superficial máxima en el rango de profundidad de por lo menos  $0,02 \text{ }\mu\text{m}$ .
- 30 6. Utilización de un dispositivo para producir una compactación superficial en un dentado de engranaje recto, en el que éste lleva a cabo una compresión superficial mediante datos determinados de manera iterativa de acuerdo con el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 ó 2.
7. Utilización de un producto de programa informático con unos medios de código de programa, que están almacenados en un medio legible por ordenador, para llevar a cabo un procedimiento según por lo menos una de las reivindicaciones 1 o 2, cuando el programa se ejecuta en un ordenador utilizar un dispositivo según la reivindicación 6.

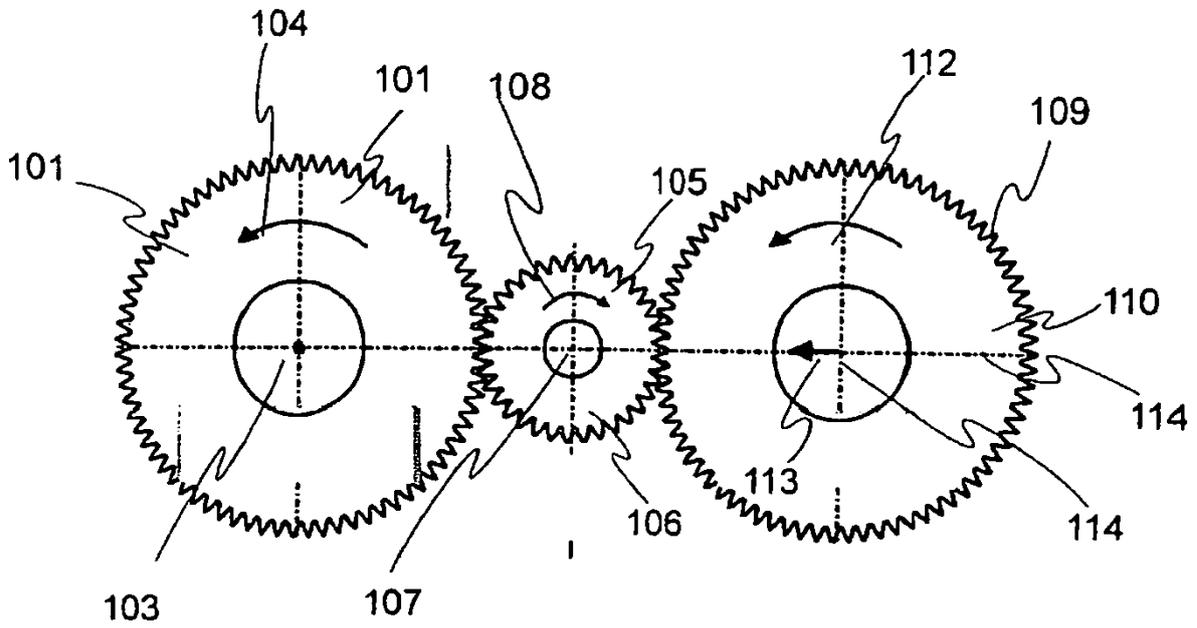


Fig. 1

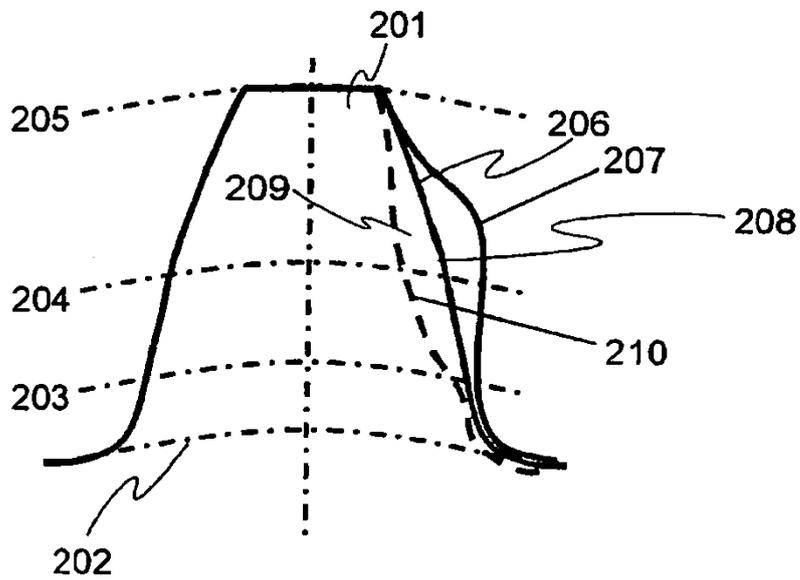


Fig. 2

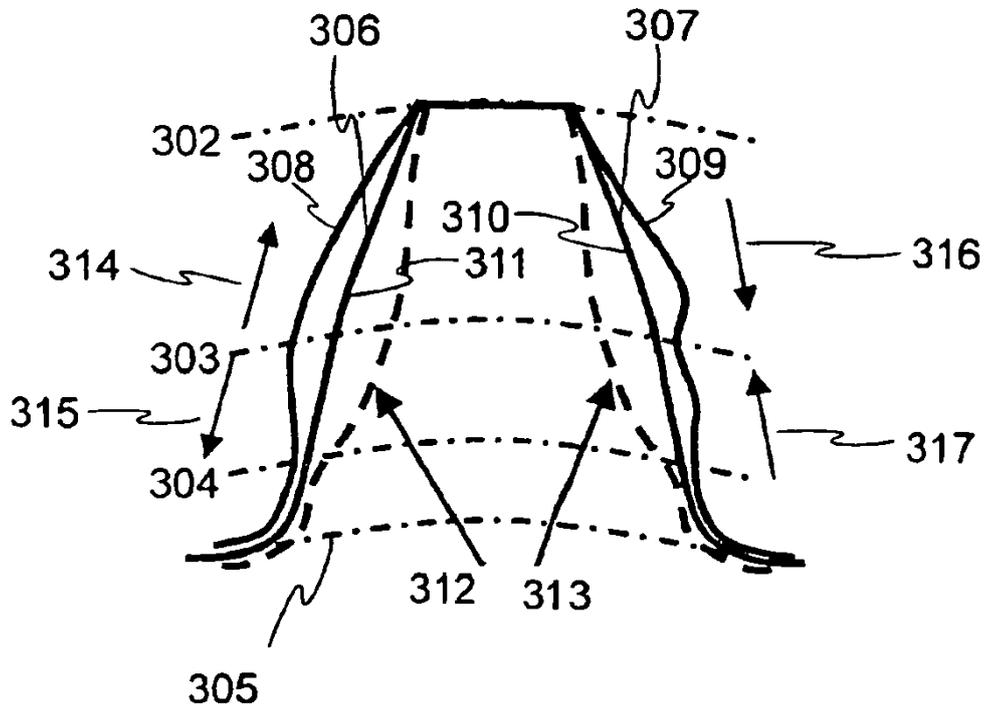


Fig. 3

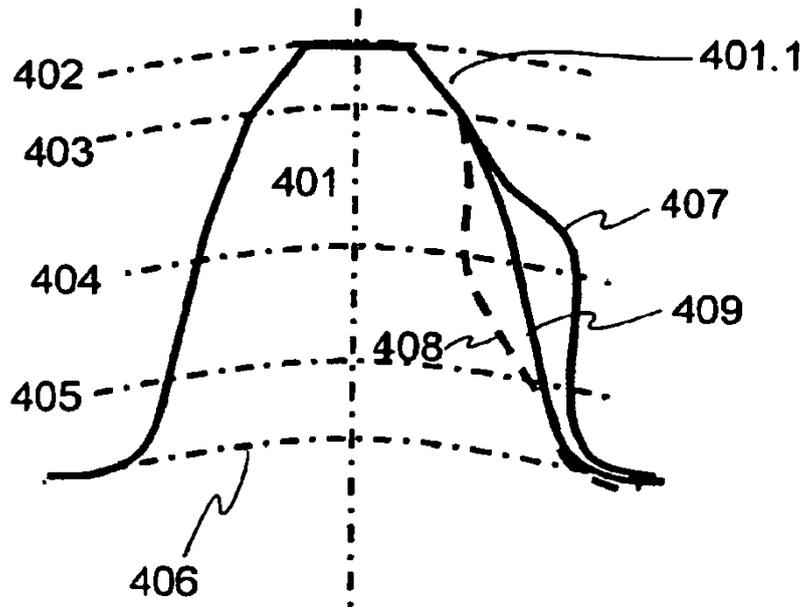


Fig. 4

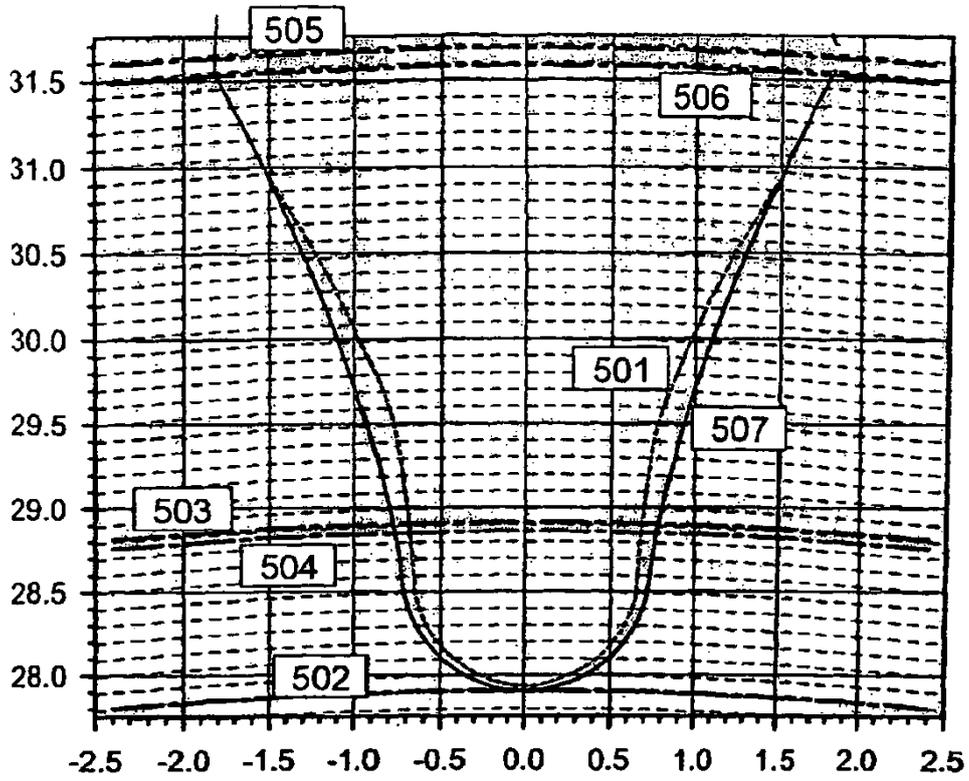


Fig. 5

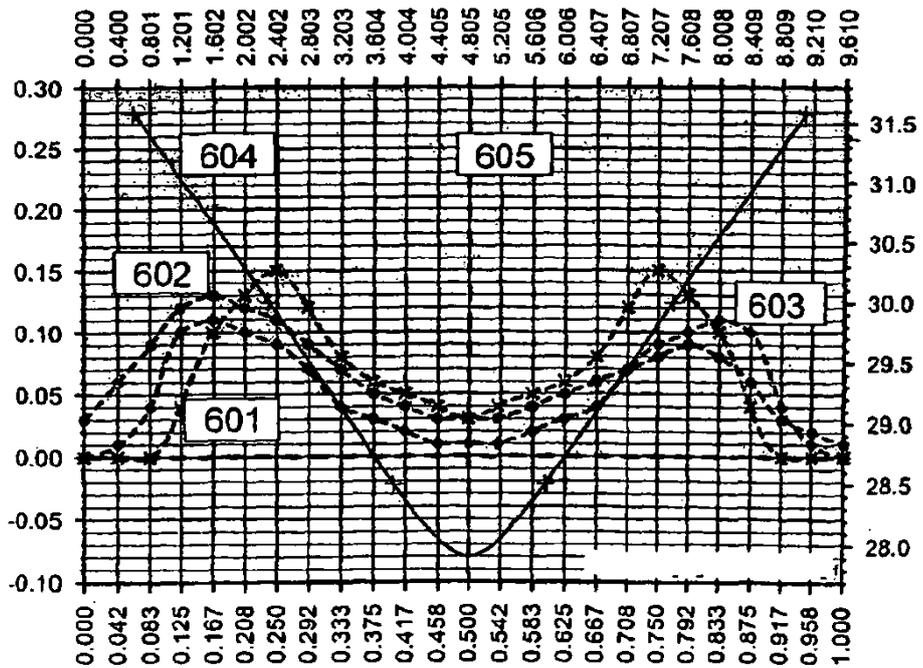


Fig. 6

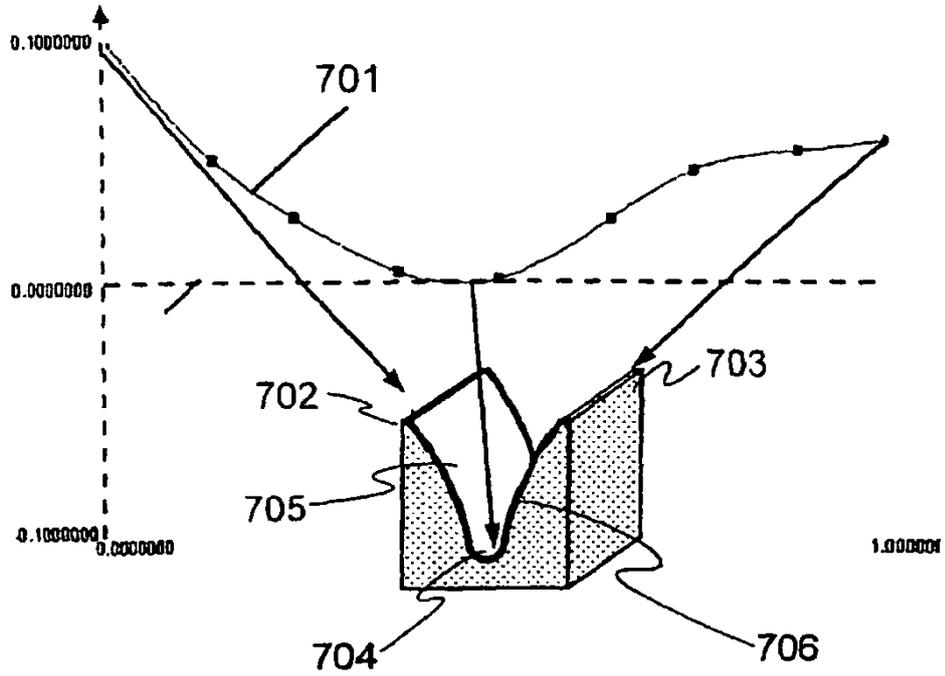


Fig. 7

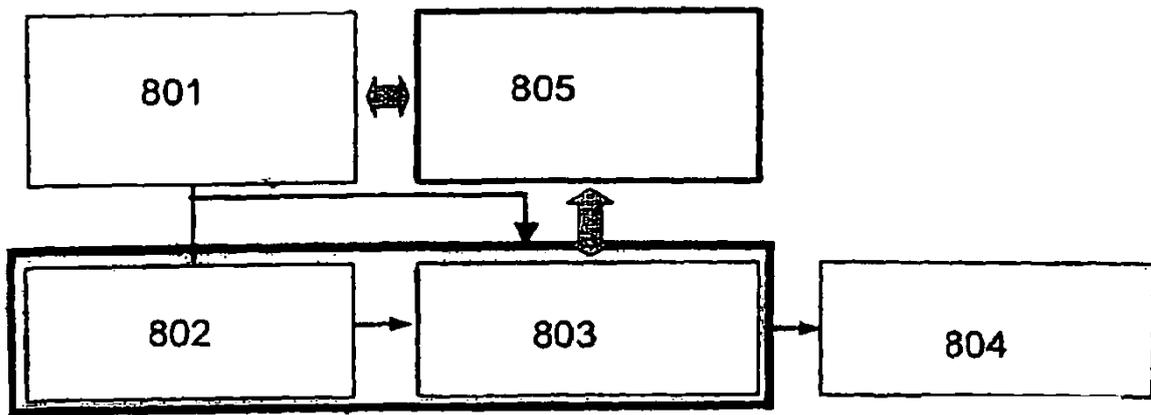


Fig. 8

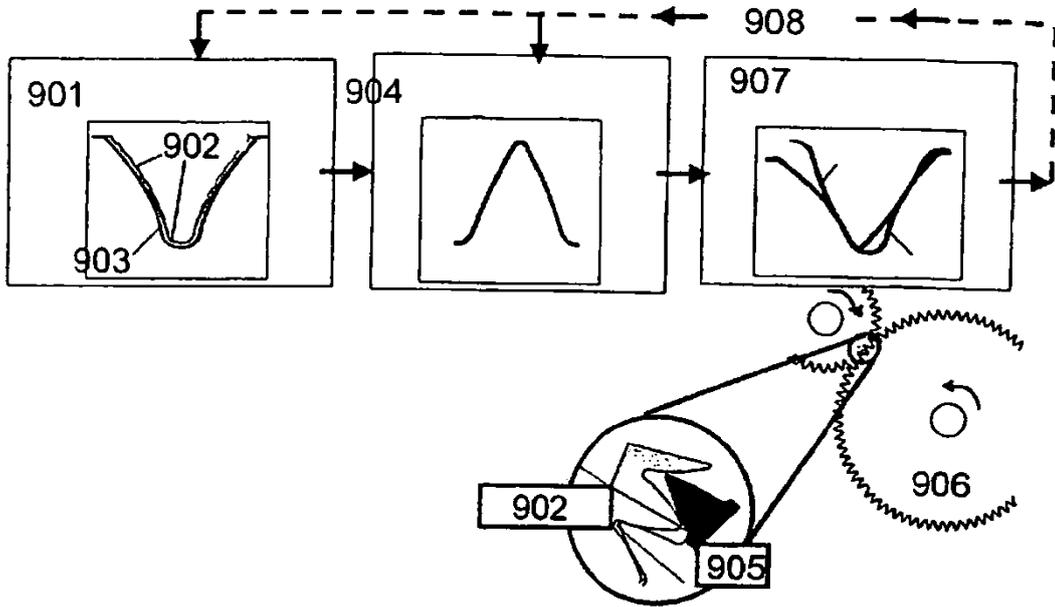


Fig. 9

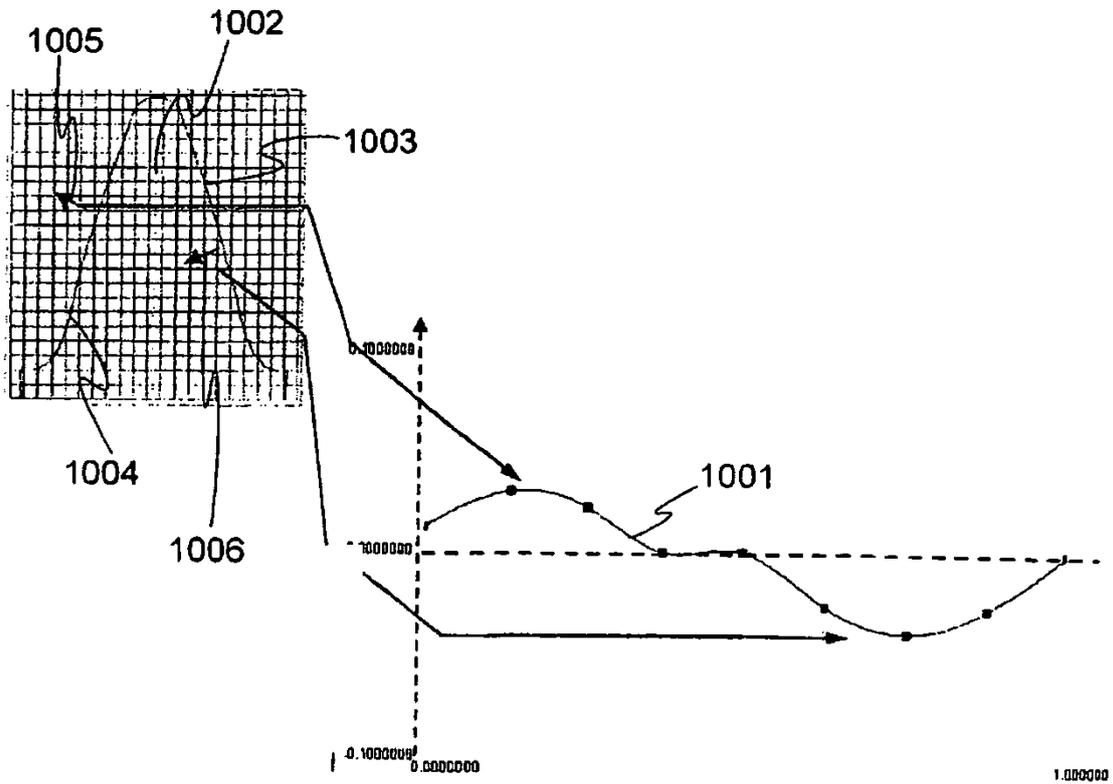


Fig. 10

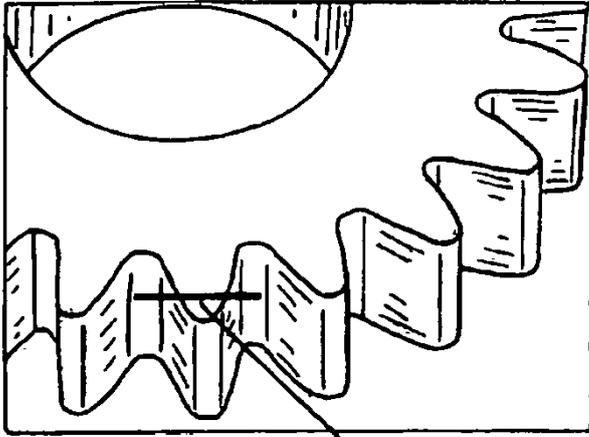
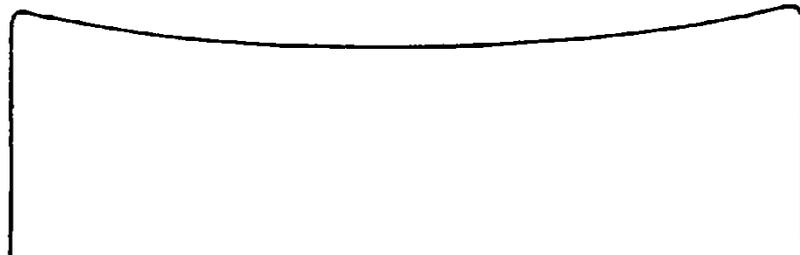


Fig.11



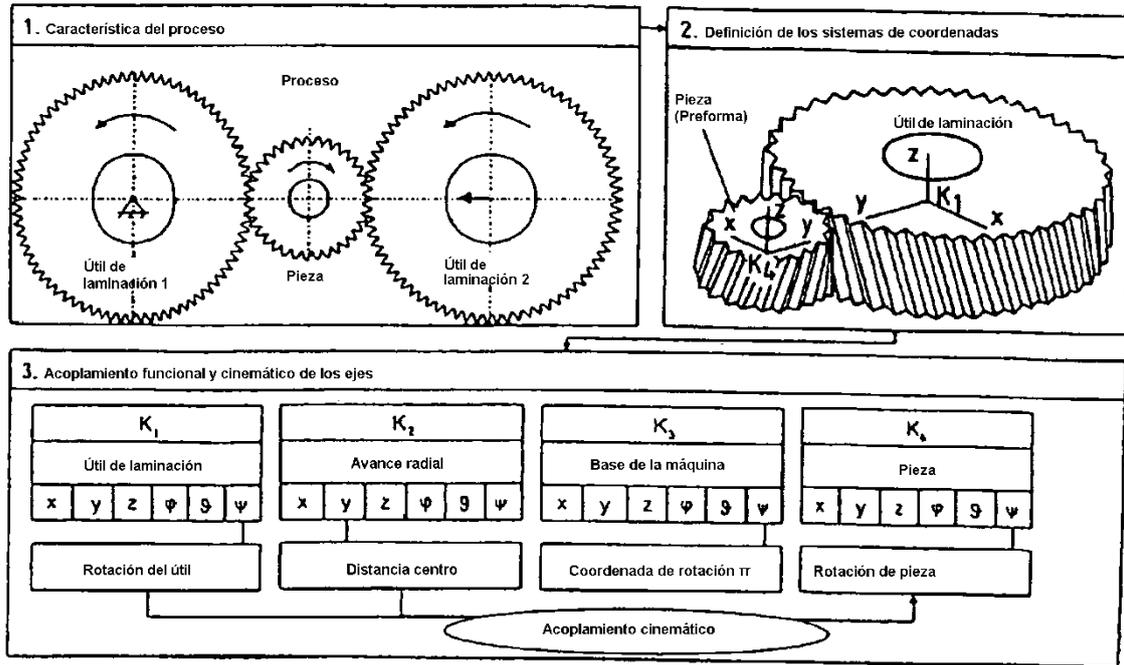


Fig.13

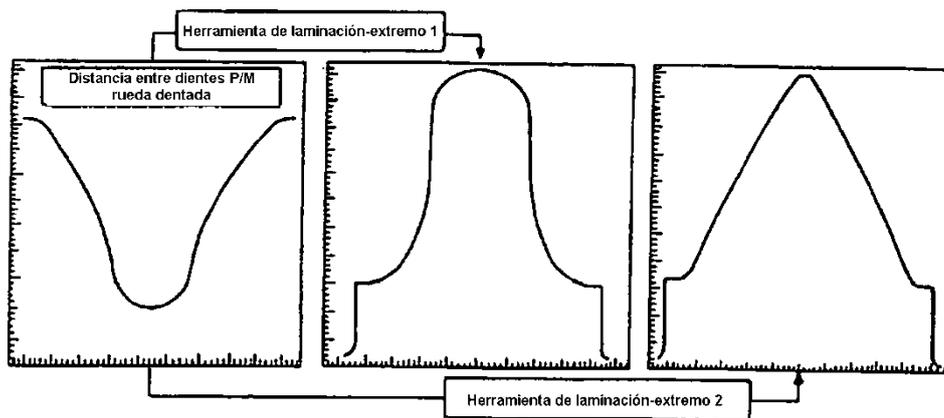


Fig.12

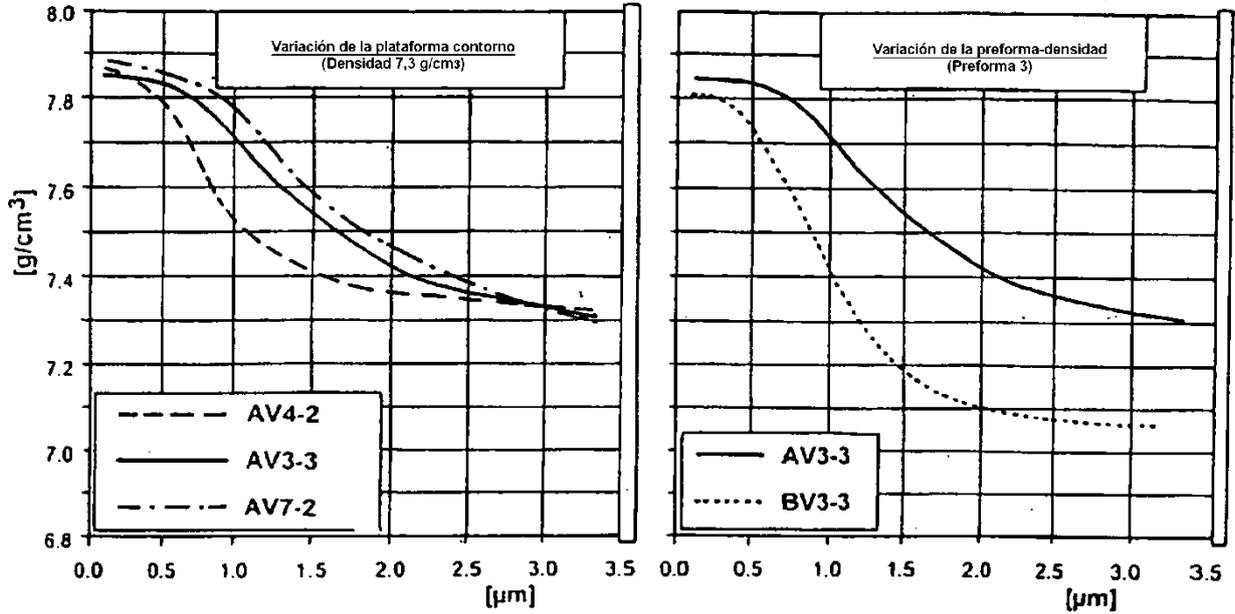


Fig.14

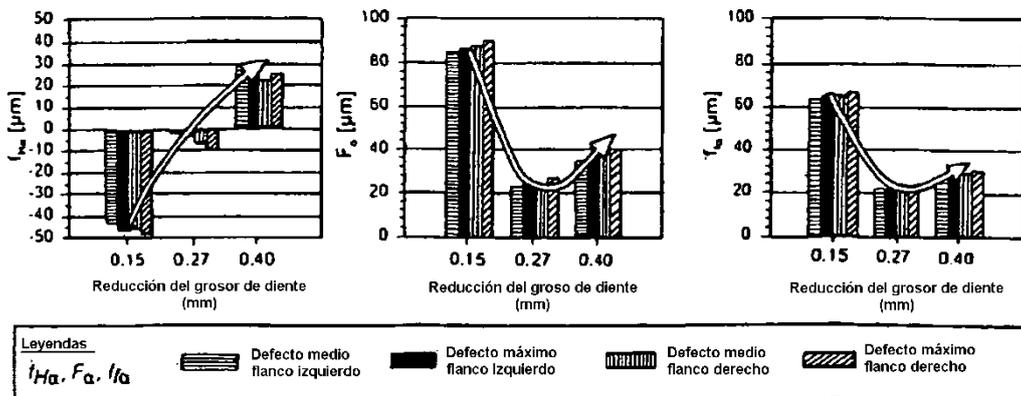


Fig.15

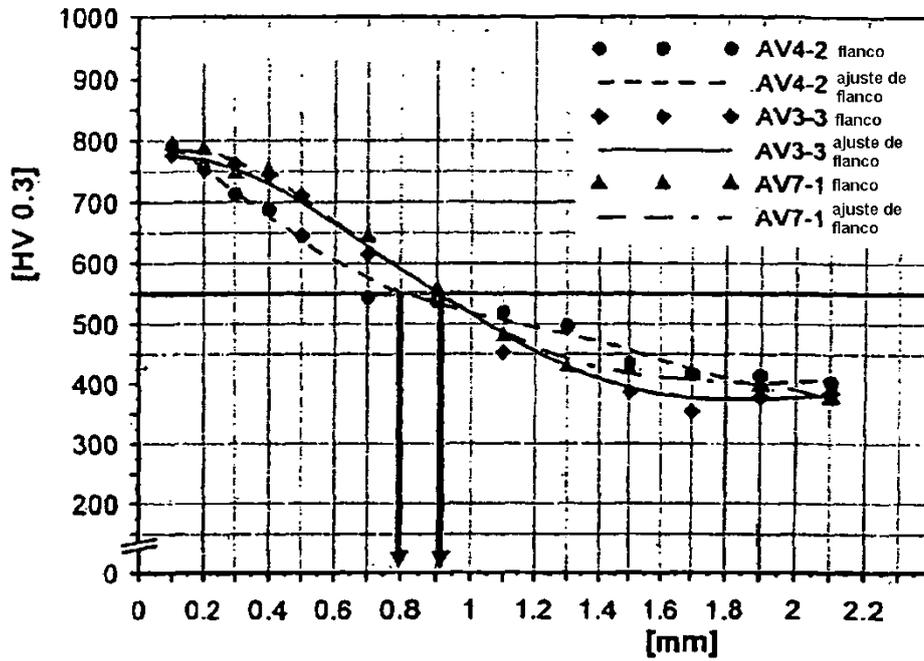


Fig. 16

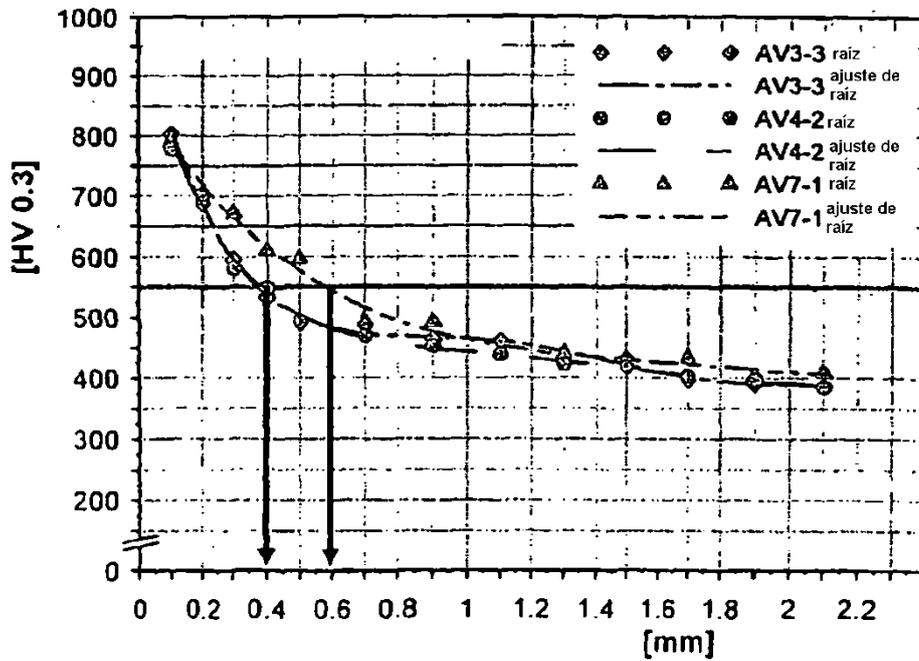


Fig. 17

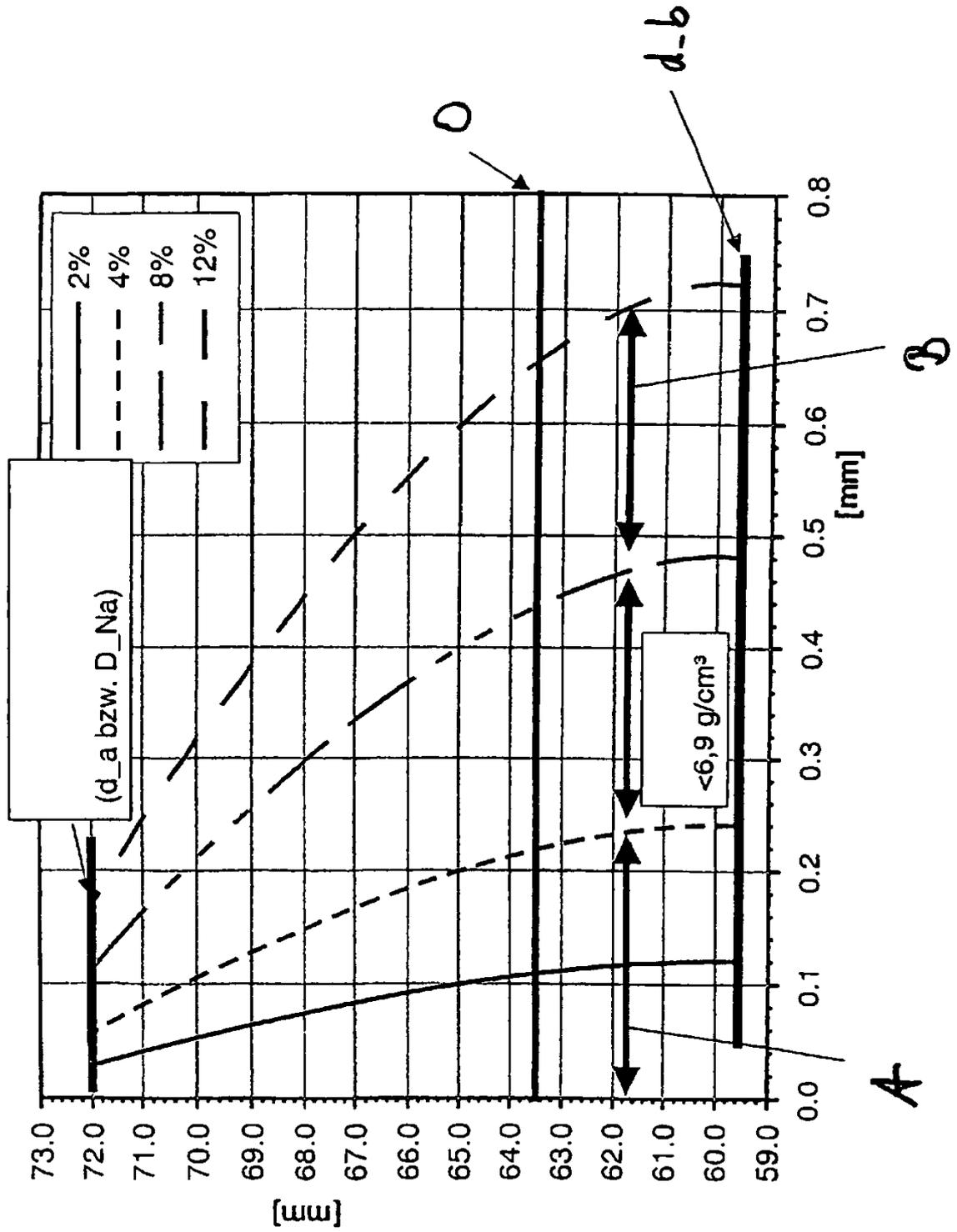
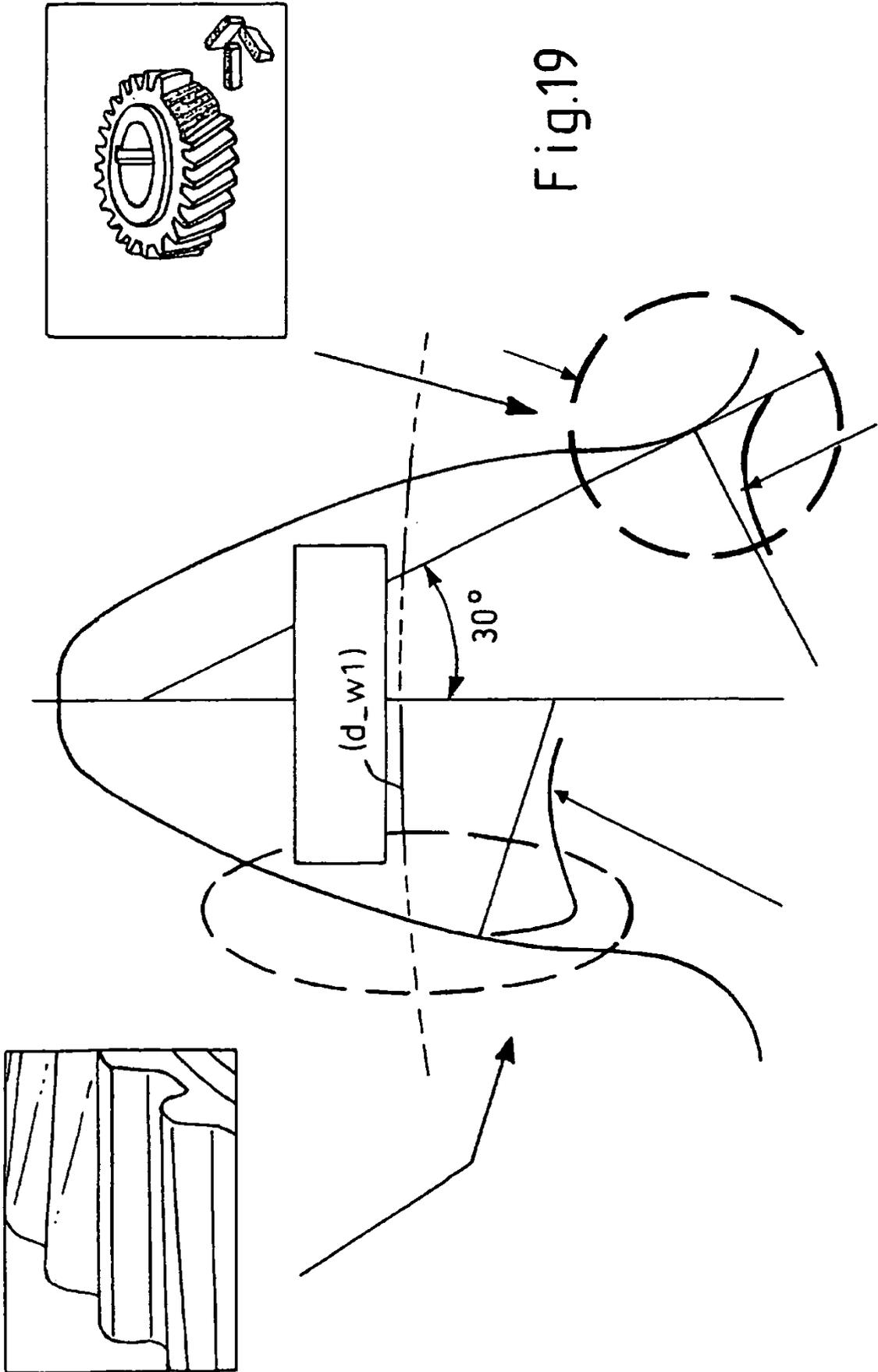
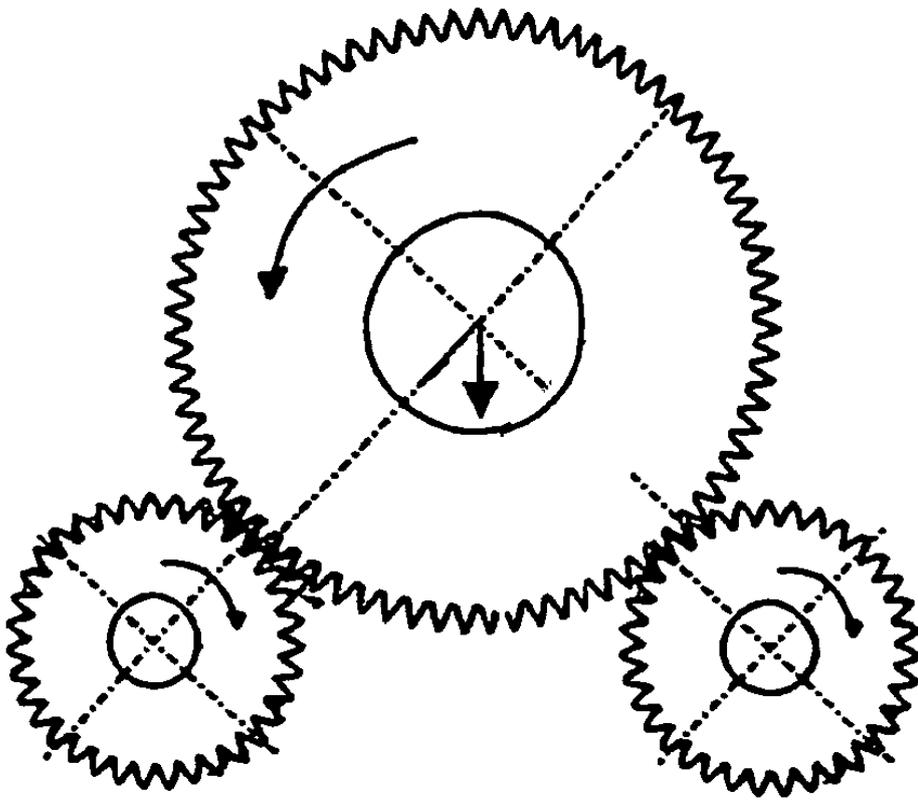


Fig. 18





**Fig. 20**