

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 404 518**

51 Int. Cl.:

B22F 5/08 (2006.01)

B22F 7/06 (2006.01)

F16H 55/08 (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 06754214 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.02.2013 EP 1888276**

54 Título: **Elemento dentado sinterizado con compactación superficial localmente selectiva**

30 Prioridad:

10.06.2005 DE 102005027048

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

28.05.2013

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 2 404 518 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

Elemento dentado sinterizado con compactación superficial localmente selectiva.

5 La invención se refiere a un procedimiento para fabricar un elemento dentado metálico superficialmente compactado que presenta un material de sinterización compactado, a una utilización correspondiente de una preforma y a un elemento dentado correspondiente.

10 Los elementos dentados sinterizados como, por ejemplo, ruedas dentadas fabricadas por pulvimetalurgia, se utilizan en amplios sectores. Los materiales de sinterización presentan en general una menor densidad en comparación con materiales convencionalmente forjados a base de, por ejemplo, acero. Por tanto, es deseable una compactación superficial de una pieza sinterizada.

15 Se desprende de la patente US nº 5.711.187 un procedimiento de compactación superficial de ruedas dentadas. Se ha previsto una sobredimensión sobre flancos de diente, en un pie de diente o sobre flancos de diente y en el pie de diente de la rueda dentada sinterizada a compactar por medio del procedimiento de laminación.

20 El objetivo de la presente invención consiste en posibilitar una mejora de la evolución de la resistencia de un elemento dentado metálico que presenta un material de sinterización. Asimismo, la invención tiene el cometido de simplificar el diseño de dentados de material de sinterización.

25 Este problema se resuelve mediante un procedimiento según la reivindicación 1 para fabricar un elemento dentado metálico superficialmente compactado, mediante una utilización de una preforma según la reivindicación 14 y mediante un elemento dentado según la reivindicación 17. En las respectivas reivindicaciones subordinadas se indican ejecuciones y perfeccionamientos ventajosos.

30 En un procedimiento según la invención para fabricar un elemento dentado metálico superficialmente templado que presenta un material de sinterización compactado con una respectiva capa de borde diferentemente compactada a lo largo de un flanco y un fondo de diente, se fabrica una preforma del elemento dentado con una sobredimensión diferente localmente selectiva a lo largo de un flanco y un fondo de diente de la preforma, referido a una medida final del elemento dentado, y se lamina dicha preforma hasta la medida final por medio de por lo menos un útil de laminación, compactándose el elemento dentado de forma localmente variada por lo menos en la zona de por lo menos un flanco y un pie de un diente de un elemento dentado para generar una capa de borde compactada en una superficie, laminándose la sobredimensión en la zona del fondo de diente de modo que ésta presente un mínimo local.

35 Un elemento dentado es en la presente memoria, por ejemplo, una rueda dentada, una cremallera, una leva, un rotor P, una corona dentada, una rueda dentada de cadena o similar. El material de sinterización compactado se fabrica especialmente con procedimientos de pulvimetalurgia. Por ejemplo, se sinteriza un polvo metálico bajo una determinada presión en combinación con un tratamiento térmico. Además, por ejemplo, se funde por inyección polvo metálico en combinación con plástico y se le sinteriza especialmente a presión, preferentemente con un tratamiento térmico. Para la conformación de una pieza sinterizada se emplea especialmente un molde de sinterización que presenta por lo menos casi la medida final del elemento dentado a fabricar. Preferentemente, se emplea como preforma una pieza resultante directamente del proceso de sinterización. Sin embargo, en otra variante se puede posponer también por lo menos otra etapa de mecanización superficial. La preforma presenta aquí una sobredimensión que puede interpretarse como una diferencia con respecto a una medida final, estando la diferencia definida preferentemente de manera puntiforme en sentido perpendicular a la superficie.

40 Como útil de laminación se emplea, por ejemplo, un rodillo que está equipado con un dentado que puede engranarse con el dentado del elemento dentado. Este útil de laminación se hace rodar especialmente a presión sobre una superficie del elemento dentado. De preferencia, se emplean especialmente al mismo tiempo dos o más de tales útiles de laminación. Por ejemplo, se puede disponer centradamente una rueda dentada a fabricar entre dos útiles de laminación. Aproximando ambos útiles de laminación se puede producir entonces una compactación superficial del material de sinterización del dentado. En general, este procedimiento de fabricación se desprende, 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, 4.059.879, EP 0 552 272 A1, EP 1 268 102 A1, US 5.729.822, 5.711.187, US 5.884.527, US 5.754.937, US 6.193.927, EP 0 600 421 A1 y GB 2.250.227 se desprenden diferentes procedimientos de fabricación, materiales de sinterización, útiles, desarrollos de compactación y dispositivos para dentados sinterizados que pueden utilizarse también de manera adaptada a la invención. Se remite al lector a los documentos anteriores en correspondencia con el ámbito de esta descripción.

45 Por ejemplo, se pueden emplear también un primer útil de laminación a una primera presión para realizar sustancialmente una laminación de contornos bastos y a continuación un segundo útil de laminación a una segunda presión para la compactación superficial deliberadamente ajustable.

50 La sobredimensión localmente selectiva se dimensiona de modo que el elemento dentado sea compactado de forma

localmente variada en una capa de borde de una superficie en por lo menos la zona de por lo menos un flanco y un pie de un diente del elemento dentado. Preferentemente, se consigue una plena densidad dentro de la capa de borde compactada, debiendo entenderse preferentemente la densidad plena como referida a una densidad de un diente comparable forjado a partir de polvo. Por ejemplo, una preforma a base de un material de sinterización presenta en un núcleo una densidad de por lo menos $6,8 \text{ g/cm}^3$, preferentemente de por lo menos $7,1 \text{ g/cm}^3$ y especialmente de por lo menos $7,3 \text{ g/cm}^3$. En la capa de borde compactada la preforma presenta, por ejemplo, una densidad de por lo menos $7,7 \text{ g/cm}^3$, preferentemente de por lo menos $7,8 \text{ g/cm}^3$, lo que corresponde a la densidad de una preforma forjada con polvo del mismo material. Es especialmente ventajosa a este respecto una evolución de la resistencia ajustada a los esfuerzos. Asimismo, con una evolución de la densidad localmente variable y ajustada a los esfuerzos, se proporciona preferentemente un dentado sinterizado apto para grandes esfuerzos. La evolución de la densidad, especialmente en las zonas sometidas a mayores esfuerzos, puede presentar un grado de densidad mayor en una zona más grande en comparación con zonas directamente contiguas de menor carga. Mediante la obtención de una sobredimensión optimizada se puede producir también económicamente un dentado fabricado de esta manera en varias etapas de trabajo.

Según una ejecución, la respectiva capa de borde diferentemente compactada se genera también mediante una sobredimensión diferente a lo largo de un flanco y/o un fondo de diente de la preforma. Por ejemplo, se ha previsto que una profundidad de la capa de borde compactada, considerado siempre perpendicularmente a la superficie, presente un máximo de densidad aproximadamente en el sitio de un esfuerzo máximo. Este máximo puede estar, por ejemplo, a la mitad de la altura del diente y disminuir cada vez continuamente hacia la cabeza del diente y hacia el pie del diente hasta el valor cero. Particularmente, para evitar picaduras se prevé, que en una zona comprendida entre 20% y 30%, especialmente entre 23% y 25% por debajo del círculo de rodadura se ajuste una compactación especialmente alta en el material de sinterización. Sin embargo, se pueden prever también otras evoluciones. En particular, al diseñar una evolución de la compactación se tiene en cuenta una evolución de la fuerza sobre un flanco de diente del elemento dentado en la finalidad de utilización prevista para este último. Por ejemplo, se aprovechan para ello las fuerzas producidas en los dientes de una rueda dentada de un engranaje y las evoluciones de las tensiones comparativas resultantes de dichas fuerzas por debajo de la superficie. Este modo de proceder es posible también con otros dentados.

Es especialmente ventajoso que se elija sobre un primer flanco de diente una sobredimensión distinta de la correspondiente a un segundo flanco del diente. En particular, se tiene en cuenta aquí especialmente una dirección de la transmisión de fuerza durante la utilización prevista de un elemento dentado. En una rueda dentada de un engranaje se tiene en cuenta para ello, por ejemplo, que, dependiendo de una dirección de giro, se presente en los flancos de diente en la dirección de giro unas fuerzas distintas de las que se presentan en sentido contrario a la dirección de giro. Asimismo, se puede compensar una compactación diferente debido a una dirección de giro del útil de laminación. Preferentemente, se eligen las sobredimensiones de modo que, después de un proceso de compactación, resulte una evolución idéntica de la compactación a lo largo del primero y el segundo flancos de diente.

Por ejemplo, para evitar fisuras por tensiones en un pie de diente o en la zona de un fondo de diente se aspira a lograr también en estas zonas una capa superficial localmente compactada. Es especialmente conveniente que en un fondo de diente se elija una sobredimensión asimétrica. Por ejemplo, una zona de un pie de diente izquierdo presenta una profundidad de compactación diferente de la correspondiente a un pie de diente derecho. En particular, se puede proporcionar entre cada dos dientes una variación preferentemente continua de una profundidad de una capa de borde mediante una variación correspondiente de la sobredimensión.

En una ejecución de un dentado se prevé preferentemente una sobredimensión diferente especialmente asimétrica no sólo con respecto a un flanco, sino preferentemente con respecto a dos flancos enfrentados uno con respecto a otro. Además, se prevé una sobredimensión diferente en el pie del diente, la cual es de preferencia asimétrica. Los flancos de diente y los pies de diente de un dentado pueden ser también asimétricos. Como sobredimensión no sólo ha de entenderse aquí la posición disponible de material adicional. Por el contrario, pertenece a esto también una inframedida. Se debe entender por esto que en una zona está previsto menos material de sinterización que el que tendría que estar previsto con respecto a un contorno final después de una etapa de mecanización. La inframedida obtenida asegura, por ejemplo, que no se produzcan resaltes no deseados al desalojar material de sinterización. Por tanto, la inframedida representa una zona de una preforma con un dentado que debe rellenarse especialmente mediante desalojamiento de material de sinterización.

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

En una ejecución se ha previsto que por lo menos $20 \mu\text{m}$ por debajo de una superficie de un primer flanco del diente se genere a la misma altura una densidad un 2% hasta por lo menos un 15% más alta que en un segundo flanco del diente. Preferentemente, en el primer flanco del diente se logra una densidad que corresponde por lo menos aproximadamente a la densidad que se logra para un elemento dentado forjado a partir de polvo, mientras que el segundo flanco presenta una densidad más pequeña. Por ejemplo, se ajusta en un flanco una densidad dentro de un

intervalo comprendido 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 comprendida entre $7,5 \text{ g/cm}^3$ y $7,82 \text{ g/cm}^3$. En particular, se tienen así nuevamente en cuenta, por ejemplo, las cargas diferentes, dependientes de la dirección de giro, de los dos flancos del diente. Preferentemente, se logra aquí una evolución de la elasticidad y la dureza ajustada a los requisitos. Más preferentemente, se reduce así una producción de ruido, por ejemplo en un engranaje.

Asimismo, se ha previsto que una sobredimensión local en un primer flanco del diente se elija por lo menos un 10% mayor que una sobredimensión, a la misma altura, en un segundo flanco del diente. En una primera variante se logra así, por ejemplo, que, debido a una sollicitación de presión diferente durante la compactación, se logre, en función del sentido de giro una evolución idéntica de la compactación en el primero y en el segundo flancos de diente. En otra variante se logra, por ejemplo, una evolución diferente de la compactación en el primero y en el segundo flancos de diente. En este caso, se pueden ajustar de manera deliberada especialmente densidades máximas diferentes, sus profundidades y también su lugar de ubicación 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 $400 \mu\text{m}$. Si la densidad de la preforma se encuentra dentro de un intervalo comprendido entre $7,2 \text{ g/cm}^3$ y $7,5 \text{ g/cm}^3$, se prevé preferentemente una sobredimensión máxima comprendida entre 20 y $150 \mu\text{m}$. Si la densidad de la preforma se encuentra entre $6,7 \text{ g/cm}^3$ y $7,2 \text{ g/cm}^3$, se emplea preferentemente una sobredimensión máxima comprendida entre $50 \mu\text{m}$ y $500 \mu\text{m}$. Una sobredimensión puede ser aquí también localmente negativa, teniéndose en cuenta, por ejemplo, una redistribución lateral del material. Una redistribución lateral puede producirse por flujo del material a consecuencia de un proceso de laminación. En particular, puede estar prevista una sobredimensión por lo menos localmente negativa que quede localmente por debajo de la medida final. La sobredimensión negativa asciende preferentemente a un máximo de $100 \mu\text{m}$. Según una ejecución la sobredimensión negativa asciende como máximo a menos de $50 \mu\text{m}$ y especialmente menos de $20 \mu\text{m}$. En particular, la sobredimensión negativa máxima se encuentra dentro de un intervalo comprendido entre $100 \mu\text{m}$ y $20 \mu\text{m}$.

Preferentemente, se logra una compactación que alcanza por lo menos en una zona de un flanco de diente del dentado una profundidad comprendida entre 1 mm y $1,5 \text{ mm}$. Por el contrario, la compactación en el pie del diente puede ser más pequeña. Según una ejecución, la profundidad máxima de la compactación de un flanco de diente es mayor en por lo menos el factor 6 que una profundidad máxima de una compactación en una zona del pie de diente correspondiente. Esto permite que el dentado, por un lado, tenga una resistencia suficiente, pero, por otro lado, conserve también cierta deformabilidad. Se evita así una rotura del diente.

En una ejecución del procedimiento se ha previsto que la preforma y el útil de laminación rueden uno sobre otra hasta que se genere un movimiento de conformación definitiva entre el elemento de dentado así fabricado y el útil de laminación. Esto se emplea, por ejemplo, para la fabricación de ruedas dentadas engranadas una con otra. Preferentemente, durante el proceso de rodadura con el útil de laminación se reduce una distancia entre el útil de laminación y la preforma. A este fin, se ajusta o adapta especialmente, de manera correspondiente, una presión de rodadura. Aparte de la posibilidad de un control de la fuerza, se puede materializar también un control del recorrido en la máquina. Además, existe la posibilidad de prever una combinación de un control de fuerza y de recorrido durante la fabricación del dentado. Se pueden efectuar así también un control puro del recorrido en una sección de la fabricación y un control puro de la fuerza en otra sección de la fabricación. Estos se pueden alternar también varias veces.

En otra ejecución se ha previsto que se produzca por medio del movimiento de laminación entre la preforma y el útil de laminación un dentado de forma de cicloide y/o de forma de evolvente.

Se puede lograr especialmente una mejora adicional de un temple superficial haciendo que el procedimiento para fabricar un elemento dentado metálico por lo menos parcialmente compactado en su superficie comprenda un proceso de temple térmico y/o químico de la superficie.

En una primera variante se emplea como proceso de temple térmico y/o químico, por ejemplo un temple por cementación. Se logra así preferentemente, aparte de un aumento de la dureza, una supresión de tensiones de deformación. En otra variante se emplea, por ejemplo, un proceso de carbonitruración. Asimismo, se pueden emplear un proceso de nitruración o de nitrocarburoción, así como un proceso de boruración. En particular, se logra también en estos procesos, en combinación con un tratamiento térmico una reducción de una tensión de deformación. Ajustando la presión reinante se puede influir también sobre el temple. Por ejemplo, se puede ajustar un vacío, especialmente cuando se realiza un temple por cementación. Existe también la posibilidad de realizar un temple por inducción.

El temple se realiza según una ejecución en forma tan sólo parcial, ejecutándolo, por ejemplo, solamente en la zona del dentado.

En una variante preferida se ha previsto que un procedimiento para fabricar un elemento dentado metálico por lo menos parcialmente templado en su superficie, que presenta un material de sinterización compactado, comprenda

las etapas de "prensado en frío o en caliente, sinterización, laminación de compactación de cotas y de superficie y temple por cementación". Por ejemplo, se efectúa primero un prensado en frío de un polvo metálico en un molde que presenta por lo menos aproximadamente la medida final del elemento dentado a fabricar. En una segunda etapa se efectúa, por ejemplo, un proceso de sinterización bajo la acción del calor con o sin acción de presión. Preferentemente, se efectúa a continuación la compactación de las cotas y de la superficie por medio de laminación. Como ya se ha mencionado más arriba, se efectúa una laminación de compactación de las cotas y de la superficie preferentemente al mismo tiempo por medio de por lo menos dos útiles de laminación. A continuación, se puede efectuar finalmente el temple, por ejemplo un temple por cementación, el cual posibilita un temple adicional de la superficie.

En lo que sigue se indican a título de ejemplo otras etapas o desarrollos posibles del procedimiento y también más datos sobre las piezas. Sin embargo, las etapas del procedimiento se pueden ejecutar también con otros materiales y otros valores de densidad alcanzados. Los materiales de sinterización utilizables se pueden aprovechar en general de la manera siguiente dentro del marco de la invención, indicándose a título de ejemplo como materiales utilizables:

- polvos mezclados (admixed powders): Por ejemplo, se mezcla polvo de hierro con otros polvos preferentemente elementales. Por ejemplo: Ancorsteel 1000+1,5-3,5 w/o Cu+0,6-1,1 w/o grafito + 0,5-1,2 w/o lubricante Ancorsteel 1000B+1,5-2,2 w/o Ni+0,4-0,9 w/o grafito + 0,6-1,1 w/o lubricante
- polvos parcialmente aleados (partially alloyed, diffusion alloyed powders): Un polvo en el que el componente o componentes de aleación están unidos metalúrgicamente con polvo elemental o polvo prealeado. Por ejemplo: Distaloy AB, Distaloy 4600A, Distaloy AE, Distaloy 4800A
- polvos prealeados (pre-alloyed powders): Polvo a base de dos o más elementos que se alean durante la producción del polvo, distribuyéndose por igual las partículas de polvo. Por ejemplo: Ancorsteel 4600V, Ancorsteel 2000, Ancorsteel 86, Ancorsteel 150HP
- aleación híbrida (hybrid alloy): polvos prealeados o parcialmente aleados con aditivos elementales o aleados con hierro que se mezclan para obtener la combinación de materiales deseada. Por ejemplo: Ancorsteel 85P+1,5-2,5 w/o Ni+0,4-0,8 w/o grafito + 0,55-1,1 w/o aditivo lubricante Distaloy AE + 1,5-2,5 w/o Ni+ 0,4-0,8 w/o grafito + 0,55-0,95 aditivo lubricante Ancorsteel 85HP + 1,1-1,6 w/o FeMn + 0,35-0,65 w/o grafito + 0,6-0,95 aditivo lubricante.

1. La pieza presenta una densidad en el núcleo comprendida entre 6,5 y 7,5 g/cm³. La densidad en la superficie asciende a más de 7,5 g/cm³. Se genera una densidad máxima hasta una profundidad de 0,1 mm.

Materiales de partida para la preforma son polvos metálicos sinterizados, especialmente materiales prealeados, materiales parcialmente aleados o aleaciones híbridas.

Con un material prealeado se efectúan un prensado en frío, una sinterización en un intervalo de temperatura comprendido entre 1100°C y 1150°C, una compactación superficial, un temple por cementación y un rectificado subsiguiente para lograr una forma final de una pieza con dentado.

Con un material de sinterización metálico parcialmente aleado se realizan un prensado en caliente a una temperatura de prensado dentro de un intervalo entre 50°C y 80°C, una sinterización a alta temperatura en un intervalo comprendido preferentemente entre 1250°C y 1280°C, una compactación superficial, un temple subsiguiente por cementación bajo vacío y un bruñido para lograr una forma final de una pieza con dentado.

Con un material de sinterización que presenta una aleación híbrida se ejecuta un prensado en caliente en el que se calientan preferentemente el polvo y el útil. Preferentemente, estos se calientan dentro de un intervalo comprendido entre 120°C y 150°C. A continuación se efectúan una etapa de sinterización, por ejemplo como sinterización a alta temperatura, una compactación superficial y seguidamente un temple por inducción. Se puede suprimir, por ejemplo, un tratamiento posterior.

2. Se forja la preforma a partir de polvo. Esta preforma se consolida en su superficie por lo menos parcialmente en la zona de los flancos del diente y/o del pie del diente. Una densidad en el núcleo de la pieza está comprendida entre 5,7 g/cm³ y 7,7 g/cm³. Una densidad en la superficie está dentro del rango que asciende a más de 7,8 g/cm³, estando preferentemente cerrados en este rango todos los poros remanentes de la superficie. Sin embargo, se puede generar también una densidad máxima hasta una profundidad de 1,5 mm.

Un procedimiento de fabricación puede desarrollarse como sigue: Elección del material en polvo, prensado en frío del material en polvo, sinterización preferentemente a una temperatura de alrededor de 1120°C, forja subsiguiente, preferentemente a una temperatura alrededor de 1000°C, retirada eventual de una capa de oxidación, compactación superficial, especialmente por laminación, temple superficial, especialmente temple por cementación, y eventual rectificado parcial subsiguiente hasta un contorno final. El procedimiento puede desarrollarse total o parcialmente dentro de una cadena de producción.

Otra ejecución prevé que se realice durante el temple superficial un temple por cementación bajo vacío al que siga una etapa de bruñido para zonas parciales del dentado.

3. Especialmente para la producción de rotores y rodets de bombas de aceite se compacta superficialmente una preforma a base de un material con contenido de aluminio en la zona de los flancos de diente y/o de los pies de diente. Con la compactación superficial se logra especialmente una forma final del dentado. La densidad en el núcleo de la pieza está comprendida preferentemente entre $2,6 \text{ g/cm}^3$ y $2,8 \text{ g/cm}^3$.

El material de sinterización se prensa, por ejemplo en caliente, por ejemplo a una temperatura comprendida entre 40°C y 65°C . A continuación se le despoja de cera, por ejemplo a una temperatura de más de 400°C , luego se le sinteriza especialmente dentro de un intervalo de temperatura comprendido entre 420°C y 440°C , por ejemplo dentro de un rango de temperatura por encima de 550°C , especialmente dentro de un intervalo de temperatura comprendido entre 600°C y 630°C , y a continuación se le homogeneiza y enfría, por ejemplo a una temperatura comprendida entre 480°C y 535°C , efectuándose seguidamente una compactación superficial, especialmente por laminación. A continuación, se puede efectuar un endurecimiento, por ejemplo en un intervalo de temperatura comprendido entre 120°C y 185°C durante un espacio de tiempo comprendido entre 6 h y 24 h.

4. Se compacta la preforma preferentemente a lo largo del flanco de diente y del pie de diente, utilizándose especialmente dos útiles de laminación en cuyo centro se dispone la preforma en forma giratoria. Según sea el material, una densidad en el núcleo de la pieza está comprendida preferentemente entre $7,2 \text{ g/cm}^3$ y $7,5 \text{ g/cm}^3$, y una densidad en la superficie, dependiendo del material, es por lo menos zonalmente superior a $7,8 \text{ g/cm}^3$. Una densidad máxima está presente especialmente hasta una profundidad de 1 mm y eventualmente también hasta más allá.

Como etapas de fabricación se proponen según una ejecución las de prensar en frío un material prealeado, sinterizarlo seguidamente, en particular dentro de un intervalo de temperatura comprendido entre 1100°C y 1150°C , realizar una compactación superficial, ejecutar un temple y eventualmente rectificar en parte la superficie.

Otra ejecución prevé prensar en caliente un material de sinterización parcialmente aleado, especialmente dentro de un intervalo de temperatura comprendido entre 50°C y 90°C , realizar una sinterización a alta temperatura, especialmente dentro de un intervalo de temperatura comprendido entre 1240°C y 1290°C , realizar una compactación superficial, efectuar un temple por cementación bajo vacío y, eventualmente, bruñir luego dicho material.

Otra ejecución prevé prensar en caliente una aleación híbrida, calentándose el polvo y el útil de prensado preferentemente dentro de un intervalo de temperatura comprendida entre 120°C y 160°C . Después de una etapa de sinterización se efectúa una compactación superficial a la que sigue un temple, preferentemente un temple por inducción.

5. Asimismo, existe la posibilidad de que una compactación superficial siga a una presinterización y que a continuación esté prevista nuevamente una sinterización posterior como etapa del procedimiento para la fabricación de una pieza con dentado. La presinterización puede efectuarse, por ejemplo, dentro de un intervalo de temperatura comprendido entre 650°C y 950°C . La sinterización posterior puede efectuarse, por ejemplo, a una temperatura de sinterización usual para el material, por ejemplo, comprendida entre 1050°C y 1180°C . Existe también la posibilidad de realizar una sinterización a alta temperatura, por ejemplo dentro del intervalo comprendido entre 1250°C y 1280°C . Pueden seguir después opcionalmente un temple y/o una mecanización posterior, por ejemplo un bruñido o bien un rectificado.

El prensado preferente puede efectuarse en estado frío, templado o caliente, calentándose en este último preferentemente el útil de prensado y el polvo. Por ejemplo, se efectúa el prensado por calentamiento dentro de un intervalo de temperatura comprendido entre 120°C y 160°C .

6. Un perfeccionamiento prevé que un temple de sinterización siga a la etapa de sinterización posterior. Opcionalmente, puede seguir a este temple un rectificado o un bruñido.

7. Otro procedimiento de fabricación prevé compactar la preforma a una temperatura que es superior a 150°C , especialmente superior a 500°C . Por ejemplo, la preforma puede ser conducida directamente desde un horno de sinterización hasta una máquina de compactación superficial. La preforma puede presentar en este caso una temperatura que, por ejemplo, esté por encima de 600°C , ascendiendo especialmente también a más de 800°C . Preferentemente, se calientan el útil o útiles de compactación superficial, por ejemplo a una temperatura de alrededor de 150°C . Según otra ejecución, se enfría el útil de compactación superficial, preferentemente por efecto de una refrigeración que se desarrolla en el interior del útil.

8. Otro procedimiento de fabricación prevé que se efectúe una compactación superficial mientras se calienta la preforma por lo menos parcialmente. En particular, el calentamiento se efectúa a una temperatura que simplifica la compactación superficial. Preferentemente, se utiliza para ello un calentamiento por inducción. A continuación, se

efectúa un rápido enfriamiento para crear una estructura martensítica. De esta manera, se puede combinar, por ejemplo, un proceso de moldeo final con una compactación superficial.

Otra ejecución prevé que se pueda ejecutar una compactación superficial con procedimientos muy diferentes. Una ejecución prevé especialmente que en una primera zona se ejecute la compactación superficial con un procedimiento diferente al de una segunda zona distinta. Como procedimientos pueden utilizarse aquí una consolidación por chorreado, un chorreado con bolas y una compactación por medio de una bola, por medio de un rodillo o por medio de otro cuerpo rotativo, así como por medio de útiles configurados en forma de dientes, especialmente útiles de laminación y similares. Estos procedimientos son adecuados también para ser utilizados cada uno de ellos individualmente por separado de los demás a fin de permitir una compactación superficial necesaria.

Por ejemplo, el pie del diente no se compacta en absoluto o bien es compactado tan solo ligeramente con un útil con el que se compacta también el flanco del diente. Existe la posibilidad de compactar la superficie en un primer tramo hasta el punto de que solamente estén centrados los poros en la superficie. A continuación, se puede mecanizar el pie del diente con otro útil o con otro procedimiento de compactación superficial. En particular, se puede conseguir también una compactación superficial diferente a lo largo del flanco del diente en comparación con el pie del diente. Por ejemplo, se pueden ajustar así calidades superficiales diferentes, por ejemplo respecto de la aspereza. La profundización máxima en la superficie puede ser también diferente debido a las diferentes técnicas utilizadas. Asimismo, existe la posibilidad de que toda la pieza con el dentado reciba una compactación superficial, tal como, por ejemplo, durante el chorreado de la superficie. De esta manera se pueden mecanizar especialmente también materiales de sinterización con contenido de aluminio u otros materiales de sinterización formadores de óxidos, ya que con la compactación superficial se puede posibilitar adicionalmente la retirada de una capa de óxido.

La invención se refiere también a una utilización de una preforma en un procedimiento según la reivindicación 14 para fabricar un elemento dentado metálico superficialmente templado que presenta un material de sinterización compactado, presentando un primero y un segundo flancos de un diente unas respectivas sobredimensiones asimétricas diferentes una de otra, teniendo la sobredimensión un mínimo local en la zona de un fondo de diente. Asimismo, se ha previsto también que una primera y una segunda zonas de pie de un diente presenten sobredimensiones especialmente asimétricas diferentes una de otra.

La invención se refiere igualmente a un elemento dentado con un material de sinterización metálico según la reivindicación 17, en donde el elemento dentado presenta una compactación localmente variada en por lo menos la zona de por lo menos un flanco y un pie de un diente del elemento dentado, y una profundidad de una zona de borde compactada es más pequeña en la zona del pie que en un flanco de diente. Preferentemente, se posibilita así una elasticidad del material pulvimetalúrgico, conveniente para muchas aplicaciones, en combinación con un temple superficial. De manera especialmente preferida, se posibilita una reducción de ruido durante la transmisión de fuerzas, por ejemplo en ruedas dentadas de engranajes, y se proporciona al mismo tiempo una buena estabilidad frente al desgaste.

En otra variante se ha previsto que el elemento dentado sea una rueda dentada con dentado recto.

Particularmente para una transmisión de fuerza mejorada y también para la reducción del ruido entre ruedas dentadas se ha previsto en otra variante que el elemento dentado sea una rueda dentada con dentado oblicuo. Además, en otra variante puede estar prevista también una rueda dentada cónica. Conforme a la descripción efectuada más arriba, es conveniente que los flancos mutuamente opuestos de los dientes de un elemento dentado presenten una compactación asimétrica.

Asimismo, es conveniente que esté presente una compactación asimétrica en una zona de pie. Esta compactación está adaptada entonces especialmente a las fuerzas que se presentan durante una utilización prevista. Para evitar fisuras por tensiones se ha previsto especialmente que la profundidad de la capa de borde localmente compactada sea solamente tan alta que se garantice todavía una elasticidad o rigidez suficiente del diente. De manera especialmente preferida, la profundidad de la capa de borde compactada es más pequeña en la zona del pie que en un flanco del diente.

Se pueden prever diferentes composiciones para un material de un elemento dentado. En una primera variante se seleccionan un material de hierro como componente principal del material de sinterización y por lo menos un componente de aleación del grupo de carbono, molibdeno, níquel, cobre, manganeso, cromo y vanadio. Una aleación de hierro es, por ejemplo, Fe-1,0 Cr -0,3 V +0,2C, con respecto a una referencia 15CrNiMo6. Otra aleación de hierro es, por ejemplo, Fe -1,5 Mo +0,2C, referido a 20 MnCr5. Asimismo, se ha previsto, por ejemplo, como aleación férrea Fe -3,5 Mo, referido a 16 MnCr5. Igualmente, puede emplearse, por ejemplo, la aleación C 0,2% Cr 0,5% Mn 0,5% Mo 0,5%, incluyendo el resto hierro e impurezas. Además, pueden estar previstas otras composiciones.

Preferentemente, para reducir el peso de un elemento dentado se ha previsto que se seleccione aluminio o magnesio como componente principal del material de sinterización. Según un aspecto de la invención, se ha previsto

que un dentado superficialmente compactado a base de material de sinterización presente por lo menos 80% de aluminio, así como por lo menos cobre y magnesio en calidad de materiales de sinterización adicionales. Una primera ejecución prevé que, además, se utilice silicio como material de sinterización. Por ejemplo, el silicio puede presentarse en un intervalo de aproximadamente 0,45% a aproximadamente 0,8%, de preferencia entre 0,6% y 0,75%. Sin embargo, el silicio puede presentarse también dentro de otro intervalo más alto, por ejemplo entre 13% y 17%, especialmente entre 14,5% y 15,5%. Cuando es más alta la proporción de silicio, se reduce la proporción de cobre en el material de sinterización. Así, una primera mezcla puede presentar, por ejemplo, cobre en una proporción de 4% a 5%, silicio en una proporción de 0,45% a aproximadamente 0,8% y magnesio en una proporción de aproximadamente 0,35% a 0,7%, y el resto consiste por lo menos principalmente en aluminio. Además, se añade preferentemente un agente auxiliar de prensado. Este puede presentar una proporción comprendida entre 0,8 y 1,8%. Por ejemplo, puede utilizarse para ello una cera, especialmente una cera amídica. Una segunda mezcla puede presentar, por ejemplo, cobre en una proporción de 2,2% a 3%, silicio en una proporción de 13% a aproximadamente 17% y magnesio en una proporción de aproximadamente 0,4% a 0,9%, y el resto consiste por lo menos principalmente en aluminio. Asimismo, puede emplearse un agente auxiliar de prensado tal como se ha indicado más arriba a título 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/cm³, preferentemente hasta la densidad máxima. Preferentemente, una pieza con un dentado fabricada de esta manera presenta una resistencia a la tracción de por lo menos 240 N/mm² y una dureza de por lo menos 90HB. Cuando es más alta la proporción de silicio, la densidad puede ascender también especialmente a más de 2,6 g/cm³.

Una segunda ejecución prevé que, además, se utilicen por lo menos zinc como material de sinterización, aparte de cobre y magnesio en calidad de aditivos, y aluminio. Preferentemente, el cobre tiene una proporción en un intervalo comprendido entre 1,2% y 2,1%, especialmente entre 1,5% y 1,65%, el magnesio tiene una proporción comprendida entre 1,9% y 3,1%, preferentemente entre 2,45% y 2,65%, y el zinc tiene una proporción comprendida entre 4,7% y 6,1%, especialmente entre 2,3% y 5,55%. El resto es por lo menos principalmente aluminio. Además, se puede utilizar aquí también un agente auxiliar de prensado como el descrito más arriba. Una pieza con un dentado fabricada a base de esta mezcla presenta preferentemente, después de la compactación superficial, por lo menos una zona del dentado en la que la densidad evoluciona desde por lo menos 2,58 g/cm³ hasta la densidad máxima. Preferentemente, una pieza con un dentado fabricada de esta manera presenta una resistencia a la tracción de por lo menos 280 N/mm² y una dureza de por lo menos 120HB.

Es especialmente conveniente que un elemento dentado sea sinterizado con otro componente funcional, especialmente un árbol u otra rueda dentada. En particular, se facilita así la obtención de una distancia de trabajo precisa entre varios elementos dentados, por ejemplo en un engranaje.

En otra ejecución se ha previsto que el elemento dentado sea parte integrante de una bomba. Por ejemplo, se trata de una rueda dentada de tipo evolvente que engrana con otra rueda dentada de tipo evolvente.

Asimismo, se divulga un dispositivo para fabricar un elemento dentado por lo menos parcialmente compactado en su superficie, especialmente para poner en práctica un procedimiento anteriormente descrito con un control de útil adaptado a una sobredimensión diferente. El dispositivo comprende aquí especialmente por lo menos un útil de laminación que puede actuar sobre la preforma, preferentemente con ayuda de un control de útil adaptado y de preferencia bajo una presión adaptada y/o un recorrido controlado en situación de acoplamiento adaptado. En particular, el dispositivo comprende un útil de laminación con una superficie dentada que puede hacerse engranar con el dentado del elemento dentado y que puede rodar sobre éste.

Asimismo, se divulga un dispositivo para fabricar un elemento dentado por lo menos parcialmente templado en su superficie a partir de una preforma consistente en un material de sinterización en por lo menos una zona de su superficie, comprendiendo el dispositivo un útil que presenta una compensación de sobredimensiones diferentes en un primero y un segundo flancos de un diente de la preforma a compactar por medio de un movimiento de rodadura. El útil de laminación puede presentar aquí un contorno necesario para la conformación, por ejemplo un dentado de tipo evolvente, solamente en un flanco o en ambos flancos de un diente. Sin embargo, en otra variante se ha previsto también que en un primero y un segundo flancos de un diente del dentado del útil de laminación estén presentes unas respectivas sobredimensiones diferentes una de otra. Esto puede ser, por ejemplo, un dentado diferente de tipo evolvente.

Asimismo, se revela un procedimiento de diseño de una sobredimensión para lograr una compactación superficial de un elemento dentado de metal sinterizado en un proceso de rodadura, en el cual se obtiene iterativamente la sobredimensión. En una primera etapa se prefijan, por ejemplo, una geometría y especialmente un par de giro y/o una distribución de presión. En otra etapa se define, por ejemplo, un diseño de un útil de laminación. Asimismo, se obtiene una preforma con una sobredimensión localmente definida. Se puede efectuar una selección, por ejemplo con ayuda de una biblioteca de datos. Esta biblioteca de datos contiene, por ejemplo, evoluciones de densidad experimentales obtenidas con ayuda de diferentes parámetros. Asimismo, se puede efectuar una simulación del proceso de compactación o de rodadura. A este fin, se simula, por ejemplo, la cinemática del movimiento de rodadura en combinación con una simulación de propiedades elásticas y plásticas de la preforma y, eventualmente, del útil de laminación. Para la simulación de las propiedades elásticas y plásticas de la preforma se recurre, por

ejemplo, a modelos de la mecánica de un continuo en combinación con una solución discreta por medio de, por ejemplo, métodos de elementos finitos o de volúmenes finitos.

En una ejecución preferida se ha previsto que se obtenga iterativamente la geometría de un útil de rodadura teniendo en cuenta la sobredimensión. Por ejemplo, se puede obtener una sobredimensión de un dentado de tipo evolvente del útil de rodadura. De manera correspondiente, se puede obtener una sobredimensión para un dentado de tipo distinto al de evolvente.

En una ejecución especialmente preferida se ha previsto que en una primera etapa se genere automáticamente con ayuda de por lo menos una consigna de construcción una sobredimensión de una preforma de un elemento dentado, localmente variada en una zona de un flanco de un diente y por lo menos puntualmente definible, en una segunda etapa se genere automáticamente una geometría de un útil de laminación, en una tercera etapa se simulen un proceso de rodadura y una evolución local así generada de una compactación de por lo menos una capa de borde del elemento dentado y en una cuarta etapa se compare una valoración automática de la evolución generada de la compactación con una consigna y, eventualmente, se repita el procedimiento desde la primera etapa aplicando por lo menos una variación a fines de optimización hasta que se satisfaga un criterio de ruptura. La variación se efectúa aquí, por ejemplo, con ayuda de un procedimiento de optimización. Un criterio de ruptura es, por ejemplo, una tolerancia entre una evolución de densidad deseada y una evolución de densidad obtenida en la simulación. Asimismo, un criterio de ruptura puede ser también un rebasamiento de un número prefijable de iteraciones.

Es especialmente conveniente que la consigna de construcción se seleccione del grupo constituido por densidad de material, geometría, par de giro y distribución de presión. El par de giro ha de interpretarse aquí como el par de giro que se presenta durante la utilización prevista de un elemento dentado.

Particularmente para evitar fisuras en el material es conveniente que se simule una tensión del material en por lo menos una zona de la compactación y que se aproveche esta tensión especialmente para la valoración. Se evita así preferentemente que una superficie se temple ciertamente en grado suficiente, pero, debido a tensiones, sea quebradiza y propensa a fisuras originadas por tensiones.

Asimismo, es ventajoso que se empleen datos archivados para fines de variación en una biblioteca de datos. En particular, se puede recurrir aquí a procedimientos de optimización y de análisis de datos por medio de, por ejemplo, redes neuronales. Asimismo, se emplean características archivadas en el banco de datos, por ejemplo para fines de optimización por medio de un algoritmo genético.

En otra ejecución se puede sustituir por lo menos una de las etapas por una consigna. Preferentemente se establece como consigna fija una geometría de útil de laminación. Se tiene así en cuenta, por ejemplo, el hecho de que un útil de laminación es sensiblemente más complicado de modificar que, por ejemplo, una preforma. Otra ejecución prevé un modo de proceder contrario. Preferentemente, partiendo de una forma final se calculan una preforma o el útil de laminación para fabricar la forma final, así como el útil de prensado para fabricar la preforma.

Por último, se divulga un producto de programa informático con medios de codificación de programa que están almacenados en un medio legible por ordenador para poner en práctica por lo menos uno de los procedimientos anteriormente descritos cuando se ejecuta el programa en un ordenador. Un medio legible por ordenador es, por ejemplo, un medio de memoria magnética, un medio de memoria magnetoóptica o un medio de memoria óptica. Asimismo, se emplea, por ejemplo, un chip de memoria. Además, un medio legible por ordenador puede estar materializado también por medio de una memoria lejana, por ejemplo por medio de una red de ordenadores.

El programa informático puede estar archivado, por ejemplo, en una máquina de compactación superficial. Puede efectuarse también un cálculo por separado de la máquina de compactación superficial. Sin embargo, la máquina dispone de un control, por ejemplo un control guiado por recorrido y/o por fuerza, en el que se pueden ingresar las coordenadas y los desarrollos de movimientos para compactar la preforma.

Asimismo, se prevé un molde de útil de prensado con el que se puede prensar una preforma de material de sinterización que se compacta seguidamente en su superficie hasta obtener una forma final. Este molde de útil de prensado se calcula iterativamente. De preferencia, se parte aquí también de datos de un contorno final de la pieza con su dentado.

Puede estar previsto también un banco de pruebas de laminación que ofrezca la posibilidad de poder realizar laminaciones de ensayo para diferentes compactaciones superficiales. Mediante éste se pueden obtener especialmente también datos que, una vez evaluados pueden intervenir en los procedimientos de cálculo. Por ejemplo, se pueden formar para ello unos valores característicos adecuados a partir de un gran número de mediciones. Mediante estos se pueden obtener, por ejemplo, valores de partida para el cálculo iterativo de la preforma, el útil de laminación o el útil de prensado. Asimismo, el banco de pruebas de laminación puede poseer un sistema automatizado de acotamiento de piezas superficialmente compactadas que presentan un dentado.

En lo que sigue se proponen otras ideas que pueden ejecutarse en combinación con los aspectos propuestos hasta

ahora.

Se prevé un procedimiento para fabricar un dentado a base de material de sinterización compactado, en el que se compacta una preforma de diente precompactada, por lo menos en una zona, por medio de datos iterativamente obtenidos, en por lo menos 0,05 mm de su superficie hasta alcanzar su forma final, y se logra una calidad de la forma final, por lo menos en una zona, de por lo menos $f_{Ha}=4$, $F_a=7$ y $f_{ia}=7$. En este caso, f_{Ha} significa la desviación respecto del dentado, F_a significa la desviación total y f_{ia} significa la desviación de la forma del perfil de los flancos. Los valores indicados corresponden a las clases de DIN respecto de la desviación.

Según un perfeccionamiento, se ha previsto que una iteración tenga en cuenta parámetros que conciernen a un comportamiento del material durante una compactación superficial de la forma del diente. Una ejecución prevé que una iteración para determinar una preforma parta de datos ingresados que se tomen de una consigna de la forma final. Preferentemente, se utiliza por lo menos un útil de laminación que presenta la misma calidad que la forma final posteriormente confeccionada. Gracias a la determinación iterativa y a la mecanización extraordinariamente exacta realizada con ella durante la compactación superficial se posibilita que se pueda transmitir la calidad del útil a la preforma. En particular, la compactación superficial extraordinariamente exacta hace posible que el dentado, después de la compactación superficial y sin una etapa adicional de mecanización posterior por arranque de material, presente esta calidad de la forma final. Por ejemplo, una pieza con el dentado, con una densidad en el núcleo de por lo menos 7,4 g/cm³, se fabrica con una densidad superficial que es máxima por lo menos en una zona de un flanco de diente, extendiéndose la densidad superficial máxima en el sentido de la profundidad dentro del rango de por lo menos 0,02 µm.

Asimismo, se revela un procedimiento para fabricar un dentado a base de material de sinterización compactado, en el que se compacta una preforma de diente precompactada, por lo menos en una zona, por medio de datos iterativamente obtenidos, hasta alcanzar su forma final, y se mejora en por lo menos 400% una aspereza en dicha zona en comparación con la preforma, ajustándose una dureza de la superficie de por lo menos 130HB. Preferentemente, se ajusta una densidad en el núcleo de la preforma que presenta por lo menos una densidad de 7,3 g/cm³, y se imprime una dureza superficial que presenta una evolución convexa desde la superficie hacia el centro de la forma final.

El dentado de material precompactado presenta en una primera zona superficialmente compactada una aspereza que es por lo menos un 400% más pequeña que una aspereza en una segunda zona que está menos compactada superficialmente o no lo está en absoluto. La aspereza R_z asciende, por ejemplo, en la primera zona a menos de 1 µm. Otra ejecución prevé que se presente una dureza superficial de por lo menos 700 HV [0,3] en la superficie de la forma final, mientras que a una profundidad de 0,4 mm desde la superficie está presente por lo menos una dureza de 500 HV [0,3]. Otra ejecución presenta una dureza superficial de por lo menos 700 HV [0,3] en la superficie de un flanco de diente y en un fondo de diente, estando presentes una dureza de por lo menos 500 HV [0,3] a una profundidad de 0,6 mm desde la superficie en el fondo de diente y una dureza de por lo menos 500 HV [0,3] a una profundidad de 0,8 mm desde la superficie en el flanco de diente. Gracias a la producción de la compactación superficial se posibilita que se puedan ajustar deliberadamente compactaciones exactas y también temple exactos de conformidad con consignas deseadas.

Se propone un procedimiento de cálculo para diseñar una preforma de un dentado de material de sinterización, en el que se ingresan datos en el procedimiento de cálculo que se obtienen a partir de una forma final prefijada del dentado, se obtienen en función de por lo menos unas condiciones de utilización de la forma final uno o varios parámetros de carga del dentado y se calcula una sobredimensión local de la preforma que se correlaciona con una compactación esperada de la preforma en la superficie, interviniendo también en el cálculo una carga del material de sinterización por debajo de la superficie.

Preferentemente, el cálculo se basa adicionalmente en una penetración del útil en la pieza a fabricar, pudiendo tenerse en cuenta especialmente el comportamiento del material de sinterización durante la penetración y después de la penetración. Por ejemplo, el procedimiento de cálculo prevé que se tenga en cuenta una deformación elástica del material de sinterización a compactar. El procedimiento de cálculo puede prever también que se tenga en cuenta una deformación elastoplástica del material de sinterización a compactar en su superficie. Preferentemente, interviene en el procedimiento de cálculo una profundidad de una carga máxima por debajo de la superficie, por ejemplo cuando se emplee la pieza como rueda dentada transmisora de fuerza. El procedimiento de cálculo puede hacer también que intervenga en el cálculo una contracción del material de sinterización durante la sinterización. Asimismo, pueden intervenir también en el cálculo unos datos empíricamente obtenidos.

Se propone un procedimiento de cálculo para diseñar un útil de compactación superficial de una preforma de un dentado a base de material de sinterización especialmente compactado a fin de establecer una geometría de diente prefijada, en el que intervienen también iterativamente datos obtenidos a partir de la geometría de diente prefijada a producir para realizar el cálculo de cinemáticas de máquinas herramienta teniendo en cuenta ejes de máquina mutuamente asociados de una pieza, a partir de la cual se conforma la pieza a fabricar, y de por lo menos un codificador de forma de útil, sus coordenadas acopladas del sistema y sus movimientos relativos entre ellos. Existe así ahora la posibilidad de que, en lugar de encontrar finalmente una forma definitiva por medio de ensayos

repetidos, resultados de medida y adaptaciones del codificador de forma de pieza, se realice esto por medio de un cálculo iterativo. Esto ahorra sensiblemente más tiempo y permite que se tengan en cuenta parámetros de influencia muy diferentes. En particular, se hace posible también una simulación del diseño, de modo que, por ejemplo, se pueda comprobar el funcionamiento de la herramienta a producir sobre una preforma diseñada en la simulación.

Según una ejecución, intervienen en el procedimiento de cálculo unas condiciones de contacto entre la pieza a fabricar y el codificador de forma de útil entre una punta y un pie del dentado. Preferentemente, interviene aquí también en el cálculo, en la zona de un pie del dentado, una tensión máxima en la superficie. Además, existe la posibilidad de que intervenga también en el cálculo, en la zona de un flanco del dentado, una tensión máxima existente por debajo de la superficie. Este procedimiento es adecuado especialmente para materiales de sinterización, pero también para piezas de acero o piezas de otros materiales.

Asimismo, se propone un útil de moldeo por prensado con una geometría de prensado para fabricar una preforma de un diente de material de sinterización, en el que la geometría de prensado presenta una evolución adaptada a una compactación superficial del dentado y provista de por lo menos un resalte que genera por lo menos en la zona del dentado de la preforma una cavidad que se puede rellenar de material de sinterización durante la compactación superficial.

Preferentemente, el resalte produce en un lado frontal de la preforma una cavidad en la zona de una cabeza de un diente del dentado. Mediante, por ejemplo, un cálculo iterativo se pueden determinar la altura del resalte o la profundidad de la cavidad y también otras dimensiones de ellos. Otra ejecución prevé que, en lugar de un resalte monolateral, esté dispuesto un resalte bilateral para producir una respectiva cavidad en ambos lados frontales del diente. Según un perfeccionamiento, el resalte está dispuesto en una zona de la geometría que produce una cavidad en una cabeza de diente de la preforma, presentando el resalte una dimensión tal que la cavidad conformada aminora por lo menos parcialmente un crecimiento de la cabeza del diente debido a la mecanización de la preforma hasta alcanzar la forma final por efecto de la compactación superficial. De esta manera, se puede calcular y especialmente producir, por ejemplo, una preforma con por lo menos una cavidad en un lado frontal de un dentado para compensar una proyección de material durante una compactación superficial de una superficie de rodadura del dentado. Se puede calcular y especialmente producir también de esta manera una preforma con por lo menos una cavidad en una cabeza de diente de un dentado para por lo menos aminorar un crecimiento de la cabeza de diente en el sentido de la altura durante una compactación superficial de por lo menos los flancos del dentado. El procedimiento de cálculo para obtener una geometría de una preforma o de un útil de moldeo por prensado prevé preferentemente que la geometría se determine partiendo de datos de una forma final de la preforma y se calcule por lo menos una cavidad o un resalte que produzca por lo menos parcialmente una compensación de un desplazamiento del material durante la compactación superficial.

Asimismo, se propone un procedimiento de compactación superficial de un dentado, en el que se calcula iterativamente un número de movimientos de compactación repetitivos de un útil de moldeo para la compactación superficial de una superficie de la preforma. Preferentemente, se calcula iterativamente una rodadura sobrepuesta hasta alcanzar una densidad predeterminada en la superficie. Un perfeccionamiento prevé que se calcule iterativamente un avance del útil de moldeo. Según una ejecución, se efectúa una rodadura sobre la preforma de menos de 20 veces para lograr la geometría prefijada de la forma final de la compactación superficial. Preferentemente, se efectúa la rodadura sobrepuesta de menos de 10 veces. En particular, se realiza una rodadura sobre la preforma de menos de 6 veces hasta que se alcance una geometría prefijada de una forma final de la compactación superficial. Hay que tener en cuenta a este respecto que con este alcance no tiene lugar todavía una conclusión de la compactación superficial. Por el contrario, se sigue desplazando sucesivamente el útil sobre la superficie durante varias veces más, especialmente menos de 25 veces, preferentemente menos de 15 veces. Se asegura así una exactitud de la configuración de la superficie.

Asimismo, se propone un procedimiento en el que se realiza una rodadura reversible sobre un dentado de material de sinterización para compactar la preforma hasta la forma final de la compactación superficial. Preferentemente, antes de una inversión de la dirección se efectúa una corta descarga de la preforma por parte del útil de moldeo. Se ha comprobado que, debido a la reversión, lo que significa debido a la inversión del movimiento, se puede crear una compactación homogeneizada. Además, se logra que se minimicen aún más los problemas surgidos durante la producción, ya que se ha reducido la presión del útil sobre la pieza antes de que se inicie la inversión del movimiento. El útil puede permanecer entonces en contacto con la pieza. Sin embargo, se le puede desprender también brevemente de la superficie.

Se propone también una compactación superficial de una pieza con por lo menos un dentado de material de sinterización, en la que se compacta una primera superficie de la pieza con un procedimiento distinto del empleado para una segunda superficie de la pieza. Preferentemente, un primer dentado de la pieza presenta una compactación distinta de la de un segundo dentado de la pieza. Un perfeccionamiento prevé que un dentado interior de la pieza experimente una compactación superficial distinta de la de un dentado exterior de la pieza. Existe también la posibilidad de que se compacte superficialmente un dentado exterior por medio de un procedimiento de rodadura, mientras que una segunda superficie es un taladro que se compacta superficialmente con un procedimiento distinto. Preferentemente, un taladro de la pieza obtiene después de una compactación superficial

una superficie templada y es llevado seguidamente a una forma final. Esto permite aprovechar el taladro para un árbol o un eje. Se puede lograr una mejora de la exactitud efectuando una compactación superficial después de un temple del dentado.

5 Se obtiene un árbol con por lo menos un primero y un segundo dentados, de los que el primer dentado de material de sinterización se ha laminado y compactado en su superficie. En lo que sigue se indican características referentes al árbol o al dentado. En este caso, para otras ejecuciones puede aprovecharse especialmente también la descripción adicional referente al dentado, a los materiales, a las etapas de fabricación, etc.

10 Según una ejecución, el árbol presenta un segundo dentado que se ha fabricado siguiendo un procedimiento distinto del correspondiente al primer dentado. Esto posibilita un gran número de combinaciones que prevén soluciones de material diferentes para cada caso de esfuerzo. Según otra ejecución, el segundo dentado forma una pieza junto con el primer dentado. Por ejemplo, ambos dentados pueden haberse fabricado conjuntamente en una máquina de prensado. Preferentemente, el primero y el segundo dentados se han calculado iterativamente y fabricado de manera correspondiente. Según una ejecución, la fabricación puede efectuarse sucesivamente, pero, según otra ejecución, ésta puede efectuarse también simultáneamente. Esto rige en particular también para otras etapas de mecanización, como, por ejemplo, una compactación superficial.

20 Un perfeccionamiento prevé que el segundo dentado presente una superficie templada sin compactación superficial. Para algunos casos de carga es suficiente la densidad lograda por la sinterización o la resistencia inherente al material empleado. Esto rige, por ejemplo, para aplicaciones en bombas.

25 Asimismo, se ha manifestado como ventajoso que por lo menos el primer dentado presente en por lo menos un diente unas respectivas pendientes de flanco diferentes a la misma altura del diente. Esto es ventajoso en las aplicaciones en las que se prefija un sentido de giro principal y especialmente un solo sentido de giro del árbol. Las diferentes pendientes de los flancos pueden diseñarse así de manera que se aminoren el desgaste y el ruido.

30 Otra ejecución prevé que el segundo dentado esté forjado. Éste puede estar compactado adicionalmente en su superficie. Este dentado puede absorber, por ejemplo, una mayor transmisión de fuerza que la del primer dentado.

35 Preferentemente, el segundo dentado es de un material distinto al del primer dentado. Por ejemplo, el segundo dentado es de acero. Sin embargo, el segundo dentado puede consistir también en un material de sinterización distinto al del primer dentado. Además, el árbol puede ser de material de sinterización. Puede presentar, por ejemplo, el mismo material que el primer dentado. Asimismo, el árbol puede formarse por lo menos juntamente con el primer dentado, es decir, que puede ser prensado a partir de material en polvo, preferentemente en un molde de prensado común.

40 Un procedimiento tomado como ejemplo para la fabricación del árbol anteriormente descrito puede prever también que el primer dentado reciba una compactación superficial y que un taladro para recibir el árbol sea superficialmente compactado, templado y luego bruñido antes de que el árbol y el primer dentado se unan uno con otro. Se efectúa preferentemente para ello, partiendo de una forma final del árbol con el primer dentado, un cálculo iterativo de una preforma del primer dentado.

45 Aplicaciones preferidas para un árbol de esta clase se encuentran en la tecnología de los vehículos automóviles y también en la construcción de engranajes y en los aparatos electrodomésticos.

50 Asimismo, se aprovecha una preforma para fabricar un dentado de material de sinterización, presentando la preforma una sobredimensión negativa. Preferentemente, la sobredimensión negativa está dispuesta sobre por lo menos un flanco de un diente del dentado. En particular, la sobredimensión negativa puede discurrir asimétricamente a lo largo del flanco.

55 Un perfeccionamiento prevé que en cada flanco de un diente esté dispuesta 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 primero y el segundo flancos asimétricamente uno con respecto a otro.

60 Preferentemente, la sobredimensión negativa está dispuesta entre la zona de cabeza del diente y una sobredimensión en un flanco del diente. Adicional o alternativamente, la sobredimensión negativa puede estar dispuesta en la zona de una esquina del pie del diente. Asimismo, existe la posibilidad de que sean diferentes las pendientes de los flancos de un diente.

65 Aparte de un dentado exterior u otra clase de dentado, se ejecuta también una compactación superficial en un dentado que es un dentado interior. A partir de la preforma se obtiene finalmente una rueda dentada superficialmente compactada.

Un perfeccionamiento prevé un procedimiento para fabricar un dentado de un material de sinterización, en el que se

asocia a una preforma por lo menos una sobredimensión negativa obtenida por medio de un cálculo iterativo, la cual se rellena por lo menos parcialmente por desalojamiento del material de sinterización durante una compactación superficial del dentado. Preferentemente, un material de sobredimensión contiguo a la sobredimensión negativa es desalojado hacia dentro de la sobredimensión negativa. La preforma puede compactarse superficialmente hasta alcanzar la forma final pretendida, efectuándose opcionalmente un temple y/o una mecanización fina de la superficie. Esto puede efectuarse antes o después de la compresión superficial. Como mecanización fina entran en consideración un bruñido y también un rectificado.

Preferentemente, la configuración de la sobredimensión negativa se efectúa por medio de un cálculo iterativo en el que una simulación de la compactación superficial en la preforma establece si la configuración de la sobredimensión contigua está diseñada de modo que pueda alisarse la sobredimensión negativa hasta obtener el contorno final pretendido. A este fin, se proporciona una máquina para calcular y/o ejecutar una compactación superficial de un dentado, pudiendo ingresarse una cinemática calculada por medio de la cual se puede alisar, por efecto de la compactación superficial, una sobredimensión negativa de un flanco del dentado hasta obtener un contorno final pretendido.

Asimismo, se propone un procedimiento para producir una compactación superficial en un dentado, en el que por lo menos dos preformas reciben simultáneamente una compactación superficial en un dispositivo.

Según una ejecución, las preformas se disponen sobre árboles paralelos y se acoplan simultáneamente con por lo menos un útil de compactación superficial.

Conforme a una segunda ejecución, se disponen por lo menos dos preformas sobre un árbol común y se las acopla conjuntamente con por lo menos un útil de compactación superficial.

Además, se propone un dispositivo para producir una compactación superficial en un dentado, en el que se pueden sujetar por lo menos dos preformas en el dispositivo para su compactación superficial y se pueden mecanizar éstas simultáneamente.

Por ejemplo, se ha previsto que se contemple un movimiento de por lo menos un árbol en el que ambas preformas vengan a acoplarse con un útil de compactación superficial. Un perfeccionamiento prevé que estén dispuestos en paralelo entre ellos por lo menos tres árboles para por lo menos dos preformas y por lo menos un útil y que formen un triángulo, pudiendo moverse por lo menos uno de los árboles hacia los otros dos árboles. Otra ejecución prevé que se puedan instalar por lo menos dos preformas sobre un árbol común, presentando el útil una longitud mayor que una longitud sumada de por lo menos ambas preformas. Preferentemente, las preformas se aplican una a otra con sus superficies frontales. Otra ejecución prevé que esté dispuesta una distancia entre las preformas, proyectándose el útil a lo largo del árbol hasta más allá de ambas superficies frontales exteriores de las preformas.

Asimismo, se propone un componente con un dentado de material de sinterización superficialmente compactado, presentando el componente, considerado a lo largo de una sección transversal, un gradiente con respecto a los materiales de sinterización empleados.

Preferentemente, el componente presenta un gradiente que tiene una función de salto. Los materiales de sinterización están provistos de un límite de transición en por lo menos esta zona. Según una ejecución, este límite de transición está presente a lo largo de toda la superficie entre unos materiales de sinterización primero y segundo. Otra ejecución prevé que no se presente en una zona un límite fijo, sino una transición gradual. En particular, pueden estar previstos que el componente presente diferentes materiales de sinterización que se extiendan uno dentro de otro, sin presentar una marcada zona de entremezclado con gradientes crecientes o decrecientes.

Un primer perfeccionamiento de componente incluye la particularidad de que el material de sinterización del dentado presente en el núcleo una densidad más pequeña que la del material de sinterización de una zona del componente adyacente al dentado. Un segundo perfeccionamiento del componente prevé que el material de sinterización del dentado presente en el núcleo una densidad más alta que la del material de sinterización de una zona del componente adyacente al dentado.

Otra ejecución presenta un componente que tiene un primer dentado con un primer material de sinterización y un segundo dentado con un segundo material de sinterización.

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

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

Asimismo, se propone un procedimiento para fabricar un dentado superficialmente compactado en un componente, en el que se carga un primer material de sinterización en un molde antes de que se agregue un segundo material de

sinterización. A continuación se efectúan un prensado y una sinterización y se compacta solamente uno de los dos materiales de sinterización por medio de una compactación superficial del dentado, mientras que el otro material de sinterización no experimenta variaciones de ninguna clase.

- 5 Un perfeccionamiento prevé que se realice una segunda compactación superficial que afecte solamente al material de sinterización no compactado todavía en su superficie. Preferentemente, se ha previsto que el primer material de sinterización forme por lo menos una superficie de los flancos del dentado y que el segundo material forme un forro inferior del dentado.
- 10 Otro procedimiento propuesto para fabricar un dentado superficialmente compactado en un componente prevé cargar un primer material de sinterización en un molde antes de que se agregue un segundo material de sinterización, realizar a continuación un prensado y una sinterización y compactar el primero y el segundo materiales de sinterización por medio de una compactación superficial del dentado.
- 15 Para la puesta en práctica de los procedimientos se ha visto que es ventajoso que se determine iterativamente el desarrollo de los movimientos de compactación superficial teniendo en cuenta un comportamiento material de por lo menos uno de los dos materiales de sinterización.
- 20 Un perfeccionamiento para ambos procedimientos prevé que actúe un giro relativo entre el molde, especialmente un molde de prensado, y un material de sinterización a cargar en el mismo, de modo que el material de sinterización, en función de una velocidad del giro relativo, se acumule en una zona exterior del molde.
- 25 Por lo demás puede estar previsto también que el primer material de sinterización y por lo menos el segundo material de sinterización se agreguen solapándose al molde durante por lo menos un espacio de tiempo.
- 30 Asimismo, se remite al lector al documento US 5.903.815. Se desprenden de éste diferentes materiales de sinterización, condiciones para materiales de sinterización, formas, fundamentos referentes al procesamiento de dos o más materiales de sinterización, aplicaciones y etapas de procedimiento.
- 35 Asimismo, se propone que, especialmente, en una rueda dentada, una rueda de cadena o una corona dentada forjadas, el procedimiento de fabricación, además de prever la etapa de compactación superficial del dentado, prevea también un rectificado o bruñido de los flancos de diente y/o los pies de dientes compactados. Preferentemente, mediante la forja se logra como densidad en el núcleo una densidad de por lo menos $7,6 \text{ g/cm}^3$. Por tanto, la compactación superficial puede proporcionar una compactación completa y/o también una precisión de la configuración del dentado. Un perfeccionamiento prevé que, para una etapa de mecanización con arranque de material después de la compactación superficial, una sobredimensión para esta etapa rebasa la medida final dentro de un intervalo de $4 \mu\text{m}$ a $8 \mu\text{m}$ de material. Si, en lugar de una forja, se ejecutan un prensado, una sinterización y un temple, especialmente un temple por cementación, se proporciona entonces después de la compactación superficial una sobredimensión de preferentemente $30 \mu\text{m}$ a $50 \mu\text{m}$ para un bruñido y de $50 \mu\text{m}$ a $0,3 \text{ mm}$, preferentemente $0,1 \text{ mm}$ a $0,2 \text{ mm}$, para un rectificado. Gracias al cálculo iterativo se posibilita que se puedan obtener de antemano las zonas y las sobredimensiones y que se puedan implementar éstas así posteriormente en el procedimiento. Para un taladro en la rueda dentada, la rueda de cadena o la corona dentada se prevé también preferentemente una compactación superficial seguida de un temple y luego, preferentemente, de un bruñido. El taladro puede disponer también para ello de una sobredimensión comprendida entre $30 \mu\text{m}$ y $50 \mu\text{m}$ después de la compactación superficial.
- 45 Se ha obtenido una ventaja adicional cuando se efectúa una lubricación durante la compactación superficial. Aparte de la utilización de emulsiones, se puede efectuar la lubricación especialmente con aceites. Esto es lo que se prefiere para una laminación en caliente, por ejemplo a temperaturas de más de 220°C . Además, se propone realizar la laminación en caliente a una temperatura comprendida entre 500°C y 600°C , aprovechándose preferentemente una refrigeración por aceite para, por un lado, lubricar el útil y, por otro, refrigerarlo también.
- 50 En lo que sigue se explica la invención con detalle a título de ejemplo ayudándose del dibujo. Sin embargo, estas ejecuciones representadas no son limitativas del alcance de la invención y deben interpretarse como referidas a detalles de la misma. Por el contrario, las características que se desprenden de las figuras no se limitan a las respectivas ejecuciones individuales. En cambio, estas características pueden combinarse con otras características respectivas indicadas en el dibujo y/o en la descripción, incluyendo la descripción de las figuras, para obtener unos respectivos perfeccionamientos no representados, en los que:
La figura 1 muestra una disposición de rodadura,
la figura 2 muestra un primer diente,
la figura 3 muestra un segundo diente,
la figura 4 muestra un tercer diente,

las figuras 5 a 7 muestran diferentes evoluciones de sobredimensión de diferentes elementos dentados,

la figura 8 muestra un primer esquema de procedimiento,

5 la figura 9 muestra un segundo esquema de procedimiento,

la figura 10 muestra una evolución de sobredimensión de un elemento de dentado de un útil de rodadura,

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

10 la figura 12 muestra una vista esquemática de casos extremos calculados de útiles,

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

15 la figura 14 muestra una vista de evoluciones de densidad en función de diferentes densidades de partida de las preformas empleadas,

20 la figura 15 muestra una vista de conjunto de los errores detectados que se presentan en diferentes etapas de compactación superficial y que intervienen en la caracterización del comportamiento del material,

la figura 16 muestra una evolución de dureza en HV en un flanco de un dentado durante diferentes etapas de compactación superficial,

25 la figura 17 muestra una evolución de dureza en HV en una zona de pie de un dentado durante diferentes etapas de compactación superficial,

la figura 18 muestra una vista esquemática de diferentes evoluciones de sobredimensión calculadas para diferentes densidades, y

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

La figura 1 muestra un ejemplo de una disposición de rodadura en vista esquemática. Un primer útil de laminación 101 con un primer dentado 102 está montado de forma giratoria alrededor de un primer eje 103 en una dirección de rotación 104. El primer dentado 102 se encuentra engranado con un segundo dentado 105 de una preforma 106. La preforma 106 está montada de forma giratoria alrededor de un segundo eje 107. Por consiguiente, resulta una segunda dirección de rotación 108. Además, el segundo dentado 105 se encuentra engranado 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 una tercera dirección de rotación 112. Por ejemplo, el primer eje 103 o el segundo eje 107 pueden ser ejes fijos, mientras que los otros dos ejes pueden realizar un movimiento de aproximación. Por ejemplo, el tercer eje 111 puede ser desplazado en una dirección de desplazamiento 113 a lo largo de una línea de unión 114 de los ejes primero 103, segundo 107 y tercero 111. Por ejemplo, se puede realizar un proceso de laminación de cotas. En este caso, se compactan tan sólo insignificadamente, en particular, los flancos de los dientes y no se compactan, en particular, los fondos de los dientes. Se produce con ello una compactación superficial en una zona deseada. Con esta compactación superficial se puede compactar superficialmente también, por otro lado, sólo o bien adicionalmente el fondo de diente. Por ejemplo, tiene lugar para ello durante el proceso de laminación un desplazamiento progresivo en la dirección de desplazamiento 113. En particular, por medio del primero y el segundo útiles de laminación 101, 110 se compacta también una zona de los pies de diente de la preforma 106. Para regular el primer útil y/o el segundo útil de laminación 110 y para impartir una presión necesaria para un proceso de laminación se ha previsto un dispositivo de regulación, no representado, preferentemente con un engranaje. Mediante éste se pueden aplicar también, en particular, presiones muy altas.

La figura 2 muestra un primer diente 201 de un elemento dentado correspondiente no representado. Este elemento dentado consiste en una rueda dentada. Una geometría del elemento dentado o del primer diente 201 está caracterizada aquí por un primer círculo de pie 202, un primer círculo útil de pie 203, un primer círculo de rodadura 204 y un primer círculo de cabeza 205. El primer diente 201 presenta en un primer flanco 206, antes de un proceso de laminación, una primera evolución de sobredimensión 207. Después de concluido un proceso de laminación resulta una primera evolución de medida final 208, resultando de manera correspondiente una primera capa de borde compactada 209. Según se representa esquemáticamente, esta capa está limitada por una línea límite de compactación 210. Esta línea limita la zona del primer diente 201 dentro de la cual se alcanza la plena densidad. La plena densidad se refiere aquí preferentemente a una densidad de un diente comparable forjado a partir de polvo.

La figura 3 muestra un segundo diente 301 de un elemento dentado no representado. Este elemento dentado consiste aquí también en una rueda dentada. El segundo diente 301 y una rueda dentada están caracterizados por un segundo círculo de cabeza 302, un segundo círculo de rodadura 303, un segundo círculo útil de pie 304 y un segundo círculo de pie 305. Para lograr una evolución de compactación idéntica en un segundo flanco 306 y en un

tercer flanco 307 se ha previsto una segunda evolución de sobredimensión 308 y una tercera evolución de sobredimensión 309. Después de un proceso de laminación resultan una segunda evolución de medida final 310 en el segundo flanco 306 y una tercera evolución de medida final 311 en el tercer flanco 307. Además, resultan una segunda línea de compactación 312 y una tercera línea límite de compactación 313. Debido a las diferentes fuerzas actuantes por efecto del movimiento de rodadura en una dirección de rotación sobre el segundo flanco 306 y el tercer flanco 307, la segunda evolución de sobredimensión 308 y la tercera evolución de sobredimensión 309 son de configuraciones diferentes. Se ilustra la diferente acción de fuerzas sobre los flancos de diente 306, 307 durante un proceso de laminación debido a las direcciones representadas de la velocidad de deslizamiento. En el segundo flanco 306 resultan una primera 314 y una segunda 315 direcciones de la velocidad de deslizamiento. Estas están orientadas, partiendo del segundo círculo de rodadura 303, en dirección al segundo círculo de cabeza 302 y en dirección al segundo círculo de pie 305, respectivamente. Por el contrario, en el tercer flanco 307 resultan una tercera dirección 316 de la velocidad de deslizamiento y una cuarta dirección 317 de la velocidad de deslizamiento que están orientadas en sentidos contrarios.

La figura 4 muestra un tercer diente 401 de un elemento dentado no representado. Este elemento dentado consiste también en una rueda dentada. La rueda dentada y el tercer diente 401 están caracterizados nuevamente por un tercer círculo de cabeza 402, un círculo útil de cabeza 403, un tercer círculo de rodadura 404, un tercer círculo útil de pie 405 y un tercer círculo de pie 406. El tercer diente 401 mostrado consiste en un dentado con un retranqueo de la cabeza, preferentemente en forma de un redondeamiento de la cabeza. Sin embargo, son posibles también otras geometrías en esta zona. En una zona 401.1 de la cabeza del diente se ha retranqueado aquí un perfil de diente entre el tercer círculo de cabeza 402 y el círculo útil de cabeza 403. Esto conduce a que en esta zona el diente no venga a engranar con un contradentado de tipo evolvente. En este caso, una zona activa del diente está situada únicamente en la zona comprendida entre el círculo útil de cabeza 403 y el círculo útil de pie 405 o entre el círculo útil de cabeza 403 y el tercer círculo de pie 406. Después de un proceso de laminación resulta una cuarta evolución de sobredimensión 407 en una cuarta línea límite de compactación 408. Asimismo, se logra una cuarta evolución de medida final 410 en el cuarto flanco 409.

La figura 5 muestra una evolución de sobredimensión entre dos dientes contiguos de un elemento dentado no representado. Este elemento dentado consiste nuevamente en una rueda dentada. La rueda dentada y los dientes están caracterizados por un cuarto círculo de pie 502, un cuarto círculo de pie útil 503 de la preforma, un quinto círculo de pie útil 504 de la preforma después de un proceso de rectificado, un cuarto círculo de cabeza 505 después de un proceso de fresado y un quinto círculo de cabeza 506 después de un proceso de acabado. Después de un proceso de laminación resulta una quinta evolución de medida final 507. En el eje de abscisas se ha registrado una dimensión lateral en milímetros. En el eje de ordenadas se ha registrado también en milímetros la dimensión lateral verticalmente orientada correspondiente a la dimensión anterior. El dentado discurre aquí completamente en el plano del dibujo.

La figura 6 muestra una combinación de otras evoluciones de sobredimensión. En el eje de abscisas se ha representado la longitud de arco normalizada a lo largo de una línea de flanco de un elemento dentado. Esta línea de arco se refiere aquí siempre a una evolución desde la cabeza de un primer diente hasta la cabeza de un diente contiguo. En el eje de abscisas superior se ha representado de manera correspondiente en milímetros la longitud de arco absoluta de la línea de flanco correspondiente. El eje de ordenadas de la izquierda indica una sobredimensión en milímetros. El eje de ordenadas de la derecha describe el radio correspondiente del dentado pertinente. Se representan una sexta evolución de sobredimensión 601, una séptima evolución de sobredimensión 602 y una octava evolución de sobredimensión 603. Además, se representa un radio correspondiente 604 del dentado pertinente. La sexta evolución de sobredimensión 601 y la octava evolución de sobredimensión 603 se han ejecutado aquí simétricamente con respecto a una línea de simetría 605 del fondo de diente. Por el contrario, la séptima evolución de sobredimensión 602 es de configuración asimétrica. En las inmediaciones de la línea de fondo de simetría 605 del diente, es decir, en la zona del fondo del diente, las sobredimensiones presentan en cada caso un mínimo local. Se favorece así una aminoración de un riesgo de fisuras por tensiones.

La figura 7 muestra otra evolución de sobredimensión. Se muestra una novena evolución de sobredimensión que discurre asimétricamente desde una cabeza de diente izquierda 702 hasta una cabeza de diente derecha 703. Como ya se ha mostrado en la figura 6, una sobredimensión en la zona de un fondo de diente 704 es también aquí más pequeña que en la zona del quinto 705 y del sexto 706 flancos. Esto sirve especialmente para evitar la iniciación de fisuras por tensiones.

La figura 8 muestra un primer esquema de procedimiento. Partiendo de una consigna diana 801, que comprende la geometría, un par de giro a transmitir en una rueda dentada y una distribución de presión, se genera una geometría de un útil de laminación con un primer módulo 802 de generación de geometría. Además, tanto con ayuda de la consigna diana 801 como con ayuda de la geometría del útil de laminación se genera una geometría de una preforma en un segundo módulo 803 de generación de geometría. En un primer módulo de simulación 804 se simula un proceso de rodadura. Se simulan aquí tanto una cinemática del proceso de rodadura como el proceso de compactación que se desarrolla durante el proceso de rodadura. Se tiene en cuenta aquí especialmente una redistribución del material, tal como ésta se encuentra esbozada, por ejemplo, en la figura 3. La simulación de una deformación plástica se efectúa aquí, por ejemplo, por medio de un método de elementos finitos. Esto puede

acoplarse con un programa CAD. Opcionalmente, se puede tener en cuenta un segundo módulo de simulación 805 para simular una tensión de deformación. En este módulo intervienen tanto, por un lado, la consigna diana 801 como la geometría de la preforma. Por otro lado, el segundo módulo de simulación 805 hace posible también una corrección de la geometría obtenida de la preforma. En particular, el primer módulo 802 de generación de geometría, el segundo módulo 803 de generación de geometría, el primer módulo de simulación 804 y eventualmente el segundo módulo de simulación 805 pueden ejecutarse repetidamente en un bucle de optimización.

La figura 9 muestra un segundo esquema de procedimiento. En una primera etapa 901 se genera una novena evolución 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. Seguidamente, se simula un proceso de laminación en una tercera etapa 907. Se simulan aquí el proceso de rodadura del primer perfil de diente 903 sobre el segundo perfil de diente del útil de laminación 905 y la compactación resultante de esto. A continuación, se repiten eventualmente las etapas primera, segunda y tercera 901, 904, 907 en una variación 908.

La figura 10 muestra una evolución de sobredimensión de un elemento dentado de un útil de laminación. Se representa una décima evolución de sobredimensión 1001 de un quinto diente 1002 de un útil de laminación no representado. En un séptimo flanco 1003 y un octavo flanco 1004 del quinto diente 1002 está prevista una sobredimensión diferente. En el séptimo flanco 1003 se ha previsto una aportación de material que se ha insinuado mediante una primera flecha 1005. Por el contrario, en el octavo flanco 1004 está previsto un retranqueo del diente que se ha insinuado mediante la segunda flecha 1006. La sobredimensión se refiere en este ejemplo a un perfil regular de un dentado de tipo evolvente. Gracias a las configuraciones asimétricas de los dos flancos de diente 1003, 1004 se tiene en cuenta especialmente una carga asimétrica del material de un elemento dentado a compactar de este modo. Respecto de la forma final de la pieza, se puede lograr también un perfil simétrico de ambos flancos de un diente por medio de este útil de laminación, para lo cual se realizan compensaciones en el rango de, preferentemente, menos de 0,1 µm.

La figura 11 muestra una vista esquemática de una cavidad calculada en un lado frontal de un dentado. La cavidad sirve para por lo menos minimizar, si no para compensar absolutamente, un crecimiento del desalojamiento de material de sinterización logrado por la compactación superficial y un crecimiento inherente del diente en el sentido de la altura y/o de la anchura. La forma de la cavidad depende de la sobredimensión y de las dimensiones del diente. La forma puede optimizarse iterativamente por medio del procedimiento de cálculo. Una simulación posibilita una estimación del comportamiento real posterior de la preforma.

La figura 12 muestra una vista esquemática de casos extremos calculados de útiles de compactación superficial que pueden calcularse. El punto de partida del cálculo es la geometría final izquierda del dentado. Mediante la consideración de condiciones de rodadura, parámetros de sobredimensión y otros factores de influencia se pueden establecer iterativamente las respectivas formas de útil representadas en el centro y a la derecha de dicha figura.

La figura 13 es una vista esquemática de un modo de proceder para el cálculo iterativo y las vinculaciones en una simulación. Partiendo de los datos finales prefijados de la pieza y de su dentado se pueden modelizar las cinemáticas de la máquina. En este caso, se parte, por ejemplo de los ejes mutuamente asociados de la máquina. Mediante las cinemáticas y las vinculaciones funcionales se puede realizar después, por medio de los grados de libertad existentes, una optimización del útil que se quiere diseñar. Se hace aquí referencia una vez más a la figura 12. Los ejemplos allí representados adolecen de inconvenientes correspondientes, por ejemplo una región de pie demasiado débil en la representación central o una configuración de cabeza demasiado aguzada en la representación derecha. Mediante parámetros de influencia adicionales, por ejemplo, consideraciones de resistencia y/o evoluciones de tensiones en el material, se puede ejecutar después una iteración hacia un contorno del útil adecuado para el respectivo perfil requerido. Para el útil de fabricación de la preforma se toma como punto de partida, por ejemplo, la geometría final obtenida con las sobredimensiones calculadas.

La figura 14 muestra una vista de evoluciones de densidad en función de diferentes densidades de partida de las preformas empleadas. Si se varía la densidad de la preforma en su núcleo y también en su evolución hacia fuera, resultan influencias concernientes a la evolución de la compactación superficial. Esto se desprende de la representación de la derecha de la figura 14. Variando la respectiva preforma se puede influir también fuertemente sobre la evolución de la densidad después de una compactación superficial. Por tanto, la densidad de partida en el núcleo y la configuración de la preforma representan parámetros importantes para la iteración y el cálculo.

La figura 15 proporciona un ejemplo de una vista de conjunto de los errores detectados que se presentan en etapas diferentes de compactación superficial y que contribuyen a la caracterización del comportamiento del material. El error se indica en las clases de errores según DIN 3962 y DIN 3960. Un punto importante en la obtención de una compactación superficial adecuada por laminación es la variación del perfil del útil rodante. Aplicando el procedimiento de cálculo anterior para la preforma y el útil de laminación es posible modificar el útil de laminación en base a los resultados obtenidos. Esto se representa en la figura 15 para una preforma con una densidad en el núcleo de 7,3 g/cm³ que estaba engranada con un juego no modificado de útiles de laminación y que se había compactado superficialmente. En función de un movimiento de avance del útil de laminación, se modifica la geometría de la rueda dentada. El objeto es conseguir el contorno final pretendido, tal como éste ha sido prefijado.

Se pueden deducir de las representaciones de la figura 15 los diferentes estados para movimientos de avance de distinta amplitud. Como ejemplos se representan el error de ángulo del perfil a la izquierda, el error de forma del perfil completo en el centro y el error de forma a la derecha. Estos se midieron en la respectiva rueda dentada fabricada. Así, por ejemplo, una reducción de 0,27 mm en el espesor del diente conduce a una desviación del ángulo del perfil correspondiente a la clase 7 según DIN. Sin embargo, para conseguir una forma final necesaria de la reducción del espesor del diente, es necesario un avance de 0,4 mm. Ahora bien, esto conduce a un aumento del respectivo error. Esto significa que el contorno final producido en los demás valores viene a quedar situado fuera de las clases de calidad necesarias. Por tanto, es necesaria una variación de la geometría del útil. Teniendo en cuenta los valores hallados como valores de entrada se puede determinar después un nuevo útil, se pueden realizar nuevamente los ensayos y se puede determinar iterativamente de esta manera una geometría optimizada para el útil. Mediante el cálculo se posibilita que se pueda determinar un contorno definitivo para el útil con, por ejemplo, dos o bien sólo una iteración.

La figura 16 muestra una evolución de dureza en HV en un flanco de un dentado, registrada en función de la distancia a la superficie representada sobre el eje x en [mm]. En diferentes etapas de compactación superficial se puede influir sobre la evolución del perfil de la dureza mediante una elección de sobredimensión adecuada y también mediante el movimiento de avance. Por ejemplo, la evolución puede ser por lo menos parcialmente convexa o bien cóncava. Como se indica, la preforma designada con AVA7-1 tiene una sobredimensión mayor que la de la preforma designada con AVA4-2. Ambas presentan una evolución de las durezas en sentidos contrarios: mientras que, en la primera parte hasta alcanzar 550 HV, AVA7-1 presenta una forma más bien convexa, AVA4-2 presenta una evolución más bien cóncava. Esto se modifica después de caer por debajo de 550 HV.

La figura 17 muestra una evolución de dureza en HV en una zona de pie de un dentado en etapas diferentes de compactación superficial. Debido a la sobredimensión allí menor en comparación con la sobredimensión del flanco y debido a la geometría se obtiene una evolución de dureza distinta. La dureza disminuye al principio más bruscamente, pero se convierte después aproximadamente en una evolución rectilínea con tan sólo una pequeña inclinación.

La figura 18 muestra una vista esquemática de diferentes evoluciones de sobredimensión calculadas para diferentes densidades en base a un espesor de diente final. En el eje y se ha registrado el diámetro. En el eje x se ha indicado la sobredimensión. D_a o d_a indica el diámetro de círculo útil de cabeza o el diámetro de círculo de cabeza, 0 es una consigna de una sobredimensión, por ejemplo mediante un valor en el círculo primitivo, y d_b es el diámetro del círculo de fondo. A indica el intervalo de valores preferidos para la zona del círculo de rodadura. B reproduce una zona crítica ya que allí se puede producir un fallo del material durante la laminación.

La figura 19 muestra una representación esquemática de parámetros que pueden intervenir en el cálculo iterativo. Particularmente, estos pueden ser sitios de esfuerzo máximo. Como se representa en la fotografía de la izquierda, se pueden presentar daños por picaduras en el flanco. Por tanto, se aprovecha preferentemente una evolución de tensión comparativa en la que se cumple que: se presenta una tensión máxima por debajo de la superficie, especialmente en la zona de un resbalamiento negativo y, por tanto, preferentemente por debajo del diámetro indicado d_{w1} del círculo de rodadura. La fotografía de la derecha indica una rotura de diente debido a una carga de flexión excesivamente elevada. Se sigue de esto para el módulo de cálculo que se detecta y se tiene en cuenta un sitio de esfuerzo máximo del pie de diente. Este puede obtenerse, por ejemplo, por medio de la tangente de 30° según DIN o por medio de la parábola de Lewis según AGMA. Para la tensión comparativa se supone preferentemente que se presenta una tensión máxima en la superficie.

La figura 20 es una vista esquemática de otra posibilidad referente al modo en que pueden compactarse, por ejemplo simultáneamente por lo menos dos preformas. Aparte del movimiento del útil se puede efectuar también, según una ejecución, un movimiento de las preformas en dirección al útil. Además, existe la posibilidad de que se dispongan dos o más preformas sobre un eje de preforma.

La invención puede utilizarse, por ejemplo, en ruedas dentadas de árboles de leva, en ruedas dentadas planetarias, en ruedas dentadas solares, en ruedas dentadas de accionamiento, en ruedas dentadas de compensación, en ruedas dentadas de transmisiones, en ruedas dentadas de acoplamiento, en ruedas dentadas de bombas, en ruedas dentadas con dentado recto, en ruedas dentadas con dentado oblicuo, en motores eléctricos, en motores de combustión interna, en engranajes de regulación, en dentados exteriores o interiores, en engranajes de ruedas cilíndricas exteriores o interiores con dentado recto u oblicuo, en engranajes de ruedas cónicas con dentado recto, oblicuo o arqueado, en engranajes de ruedas helicoidales o engranajes de tornillos sin fin y también en uniones de árbol de rosca empinada y de cubo de rosca empinada. Otra ejecución prevé que una rueda dentada sea de metal sinterizado. La otra rueda puede ser, por ejemplo, de plástico u otro material. Además, existe la posibilidad de que por lo menos una de las dos ruedas dentadas presente un revestimiento que actúe especialmente minimizando el ruido. Preferentemente, se puede construir también un par de ruedas helicoidales cónicas para formar así un engranaje hipoide. En particular, las piezas con dentado pueden utilizarse en la tecnología del automóvil, en la tecnología de los motores, en la tecnología de los engranajes, en los dispositivos de ajuste, en dispositivos de transmisión de fuerza, en juguetes, en dispositivos mecánicos de precisión, en aparatos electrodomésticos, especialmente en aparatos electrodomésticos móviles, y en otros.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para fabricar un elemento dentado metálico superficialmente compactado que presenta un material de sinterización compactado con una respectiva capa de borde diferentemente compactada a lo largo de un flanco y un fondo de diente; siendo fabricada una preforma (106) del elemento dentado con una sobredimensión diferente localmente selectiva (207; 308; 309; 407; 501; 601; 602; 603; 701) a lo largo de un flanco y de un fondo de diente de la preforma, respecto a una medida final del elemento dentado, y siendo dicha preforma laminada hasta la medida final por medio de por lo menos un útil de laminación (101; 110), siendo el elemento dentado compactado de forma localmente variada por lo menos en la zona de por lo menos un flanco (705; 706) y de un pie (704) de un diente del elemento dentado para generar una capa de borde compactada (209) en una superficie, siendo la sobredimensión en la zona del fondo de diente seleccionada de modo que presente un mínimo local.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la respectiva capa de borde diferentemente compactada (209) se genera por medio de una sobredimensión diferente (207; 308; 309; 407; 502; 601; 602; 603; 701) a lo largo de un flanco de la preforma (106).
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque en un primer flanco (306) del diente se selecciona una sobredimensión (207; 308; 309; 407; 502; 601; 602; 603; 701) distinta a la de un segundo flanco (307) del diente (201; 301; 401).
4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque se obtiene una diferencia de sobredimensión en los flancos de un diente, a la misma altura, en función de los requisitos de resistencia.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en un fondo de diente (704) se selecciona una sobredimensión asimétrica (207; 308; 309; 407; 502; 601; 602; 603; 701).
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque por lo menos 10 μm por debajo de una superficie de un primer flanco (306) del diente se genera a la misma altura una densidad entre un 2% y por lo menos un 15% más elevada que en un segundo flanco (307) del diente.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque una magnitud de una sobredimensión local máxima (207; 308; 309; 407; 502; 601; 602; 603; 701) es de por lo menos 20 μm , preferentemente por lo menos 50 μm y especialmente como máximo 500 μm .
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque está prevista una sobredimensión negativa (207; 308; 309; 407; 502; 601; 602; 603; 701), que es localmente inferior a la medida final.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en un primer flanco (306) del diente se selecciona una sobredimensión local (207; 308; 309; 407; 502; 601; 602; 603; 701) por lo menos un 10% mayor que una sobredimensión en un segundo flanco (307) del diente a la misma altura.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la preforma (106) y el útil de laminación (101; 110) se hacen rodar uno sobre otra, hasta que se genera un movimiento de tipo evolvente entre el elemento dentado fabricado de este modo y el útil de laminación (101; 110).
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque se obtiene un dentado en forma de cicloide por medio de un movimiento de laminación entre la preforma (106) y el útil de laminación (101; 110).
12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende un proceso de temple, en particular, un proceso térmico y/o químico de temple superficial.
13. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende las etapas de prensado, sinterización, laminación de compactación superficial y temple.
14. Utilización de una preforma en un procedimiento según la reivindicación 1, caracterizada porque un primer flanco (306) y un segundo flanco (307) de un diente presentan unas sobredimensiones (207; 308; 309; 407; 502; 601; 602; 603; 701) respectivamente diferentes entre sí, presentando la sobredimensión un mínimo local en una zona de fondo de diente.
15. Utilización según la reivindicación 14, caracterizada porque una sobredimensión está dispuesta de manera asimétrica en el primer y/o segundo flancos (306, 307).
16. Utilización según la reivindicación 14 o 15, caracterizada porque está prevista una sobredimensión negativa (207; 308; 309; 407; 502; 601; 602; 603; 701), que es localmente inferior a una medida final.

- 5 17. Elemento dentado, fabricado con un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 13, con un material de sinterización metálico, caracterizado porque el elemento dentado presenta una compactación localmente variada (209) en por lo menos la zona por lo menos de un flanco (306; 307) y de un pie (704) de un diente del elemento dentado, y una profundidad de una capa de borde compactada es menor en la zona del pie, que en un flanco del diente.
18. Elemento dentado según la reivindicación 17, caracterizado porque el elemento dentado es una rueda dentada con dentado recto.
- 10 19. Elemento dentado según la reivindicación 17, caracterizado porque el elemento dentado es una rueda dentada con dentado oblicuo.
- 15 20. Elemento dentado según una de las reivindicaciones anteriores 17 a 19, caracterizado porque los flancos enfrentados uno con respecto al otro (306; 307) de los dientes presentan una compactación asimétrica (209).
21. Elemento dentado según una de las reivindicaciones anteriores 17 a 20, caracterizado porque un dentado asimétrico (209) está presente en una zona de pie (704).
- 20 22. Elemento dentado según una de las reivindicaciones anteriores 17 a 21, caracterizado porque un material de hierro se selecciona como componente principal del material de sinterización y por lo menos un respectivo componente de aleación se selecciona de entre el grupo constituido por carbono, molibdeno, níquel, cobre, manganeso, cromo y vanadio.
- 25 23. Elemento dentado según una de las reivindicaciones anteriores 17 a 21, caracterizado porque el componente principal del material de sinterización es aluminio o magnesio.
24. Elemento dentado según una de las reivindicaciones anteriores 17 a 23, caracterizado porque este elemento está sinterizado con otro componente funcional, en particular con un árbol u otra rueda dentada.
- 30 25. Elemento dentado según una de las reivindicaciones anteriores 17 a 24, caracterizado porque este elemento es parte integrante de una bomba.

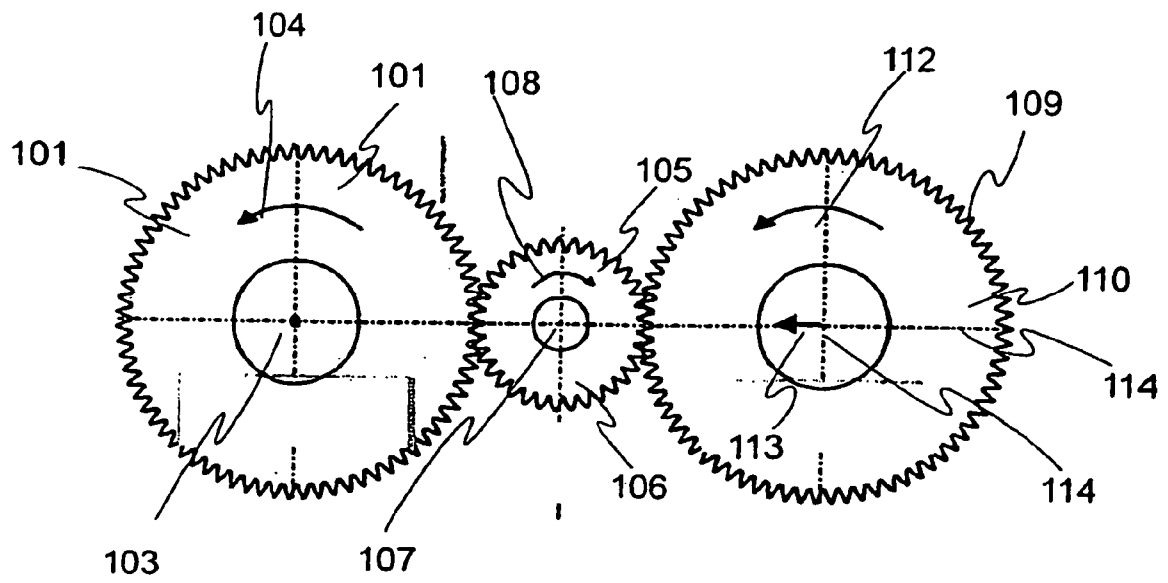


Fig. 1

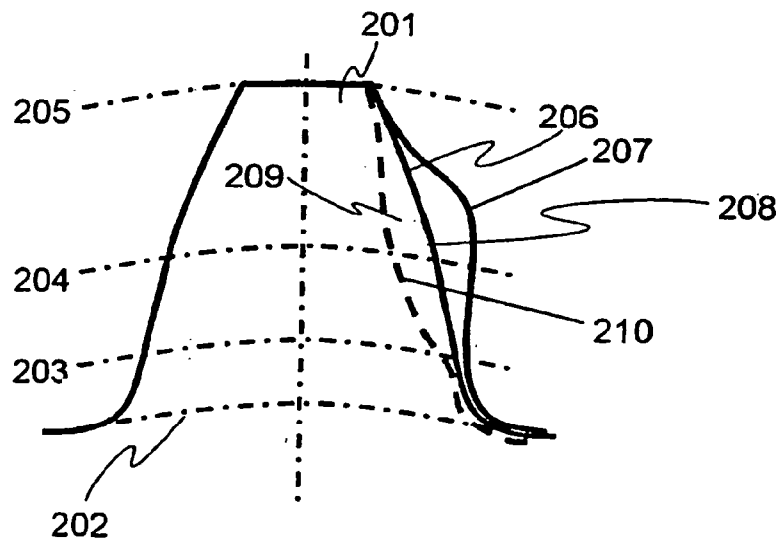


Fig. 2

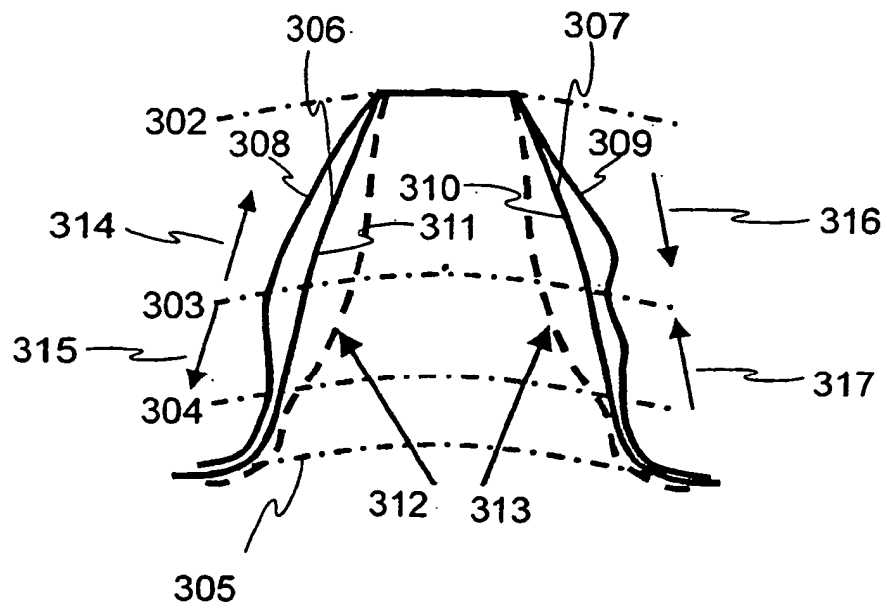


Fig. 3

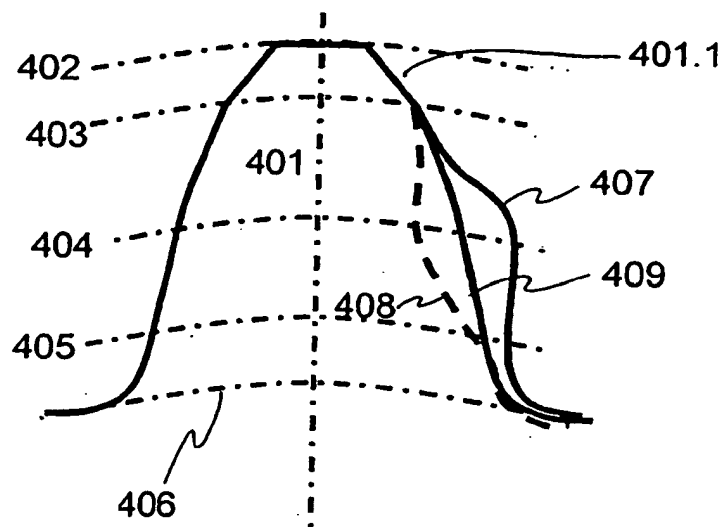


Fig. 4

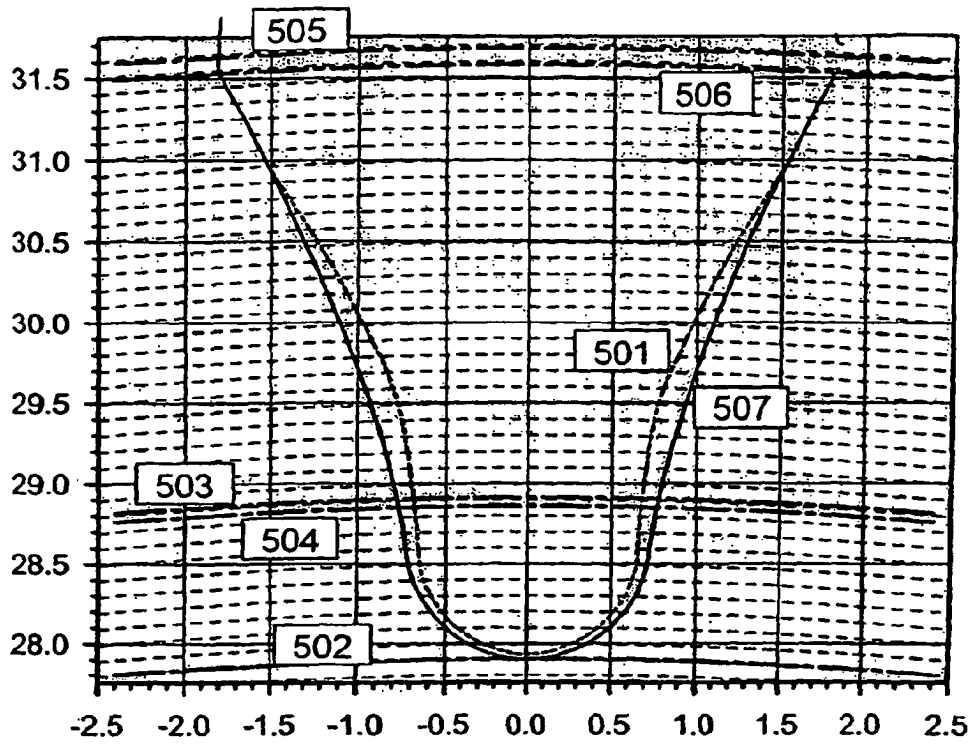


Fig. 5

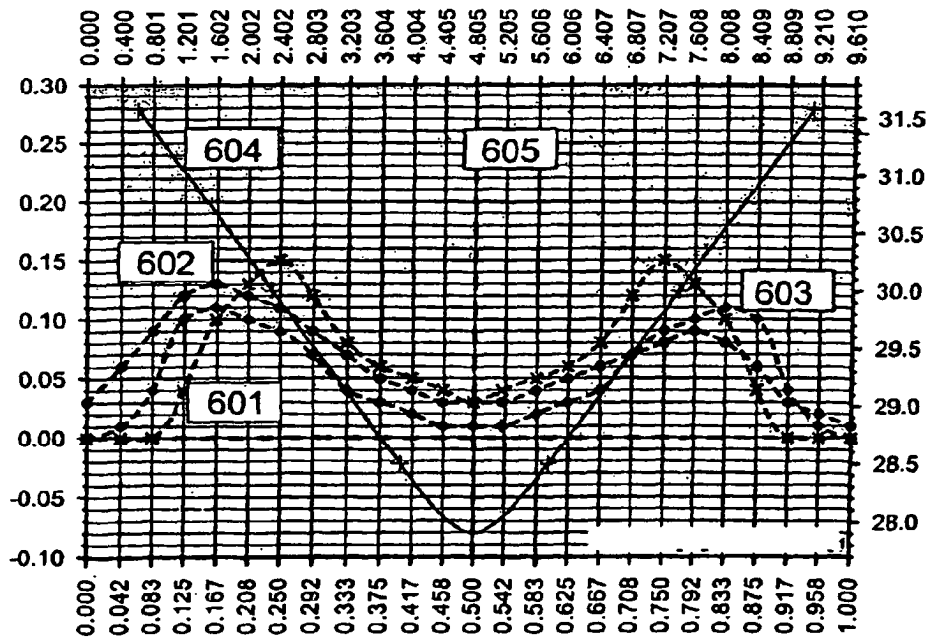


Fig. 6

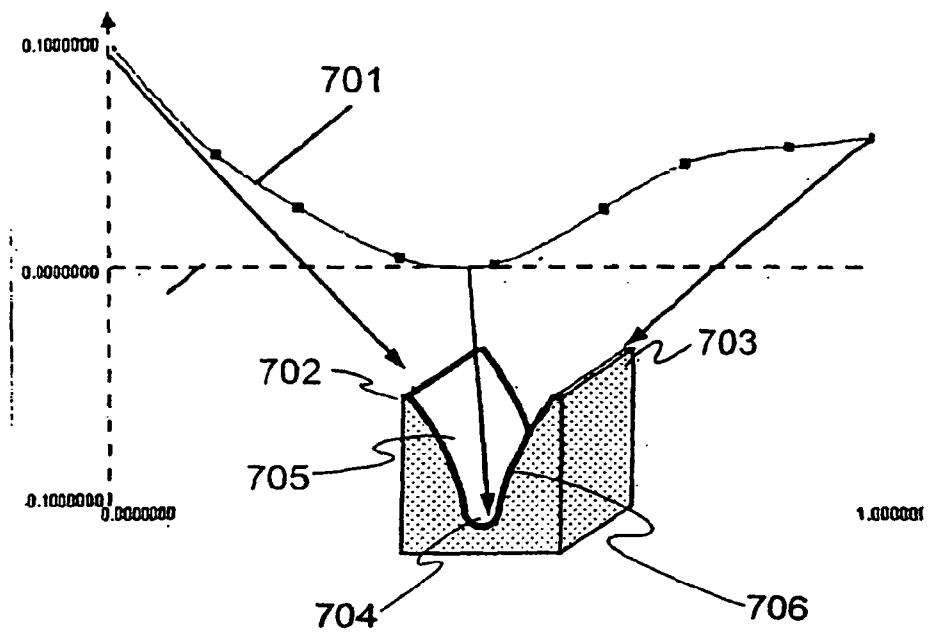


Fig. 7

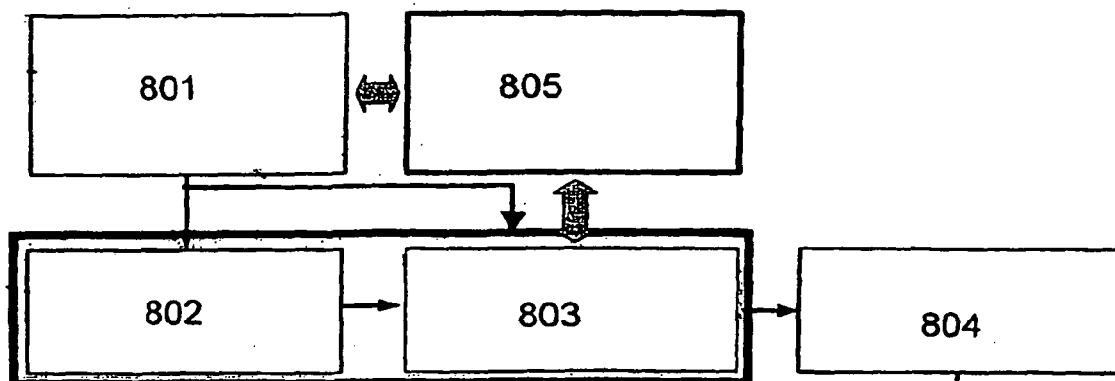


Fig. 8

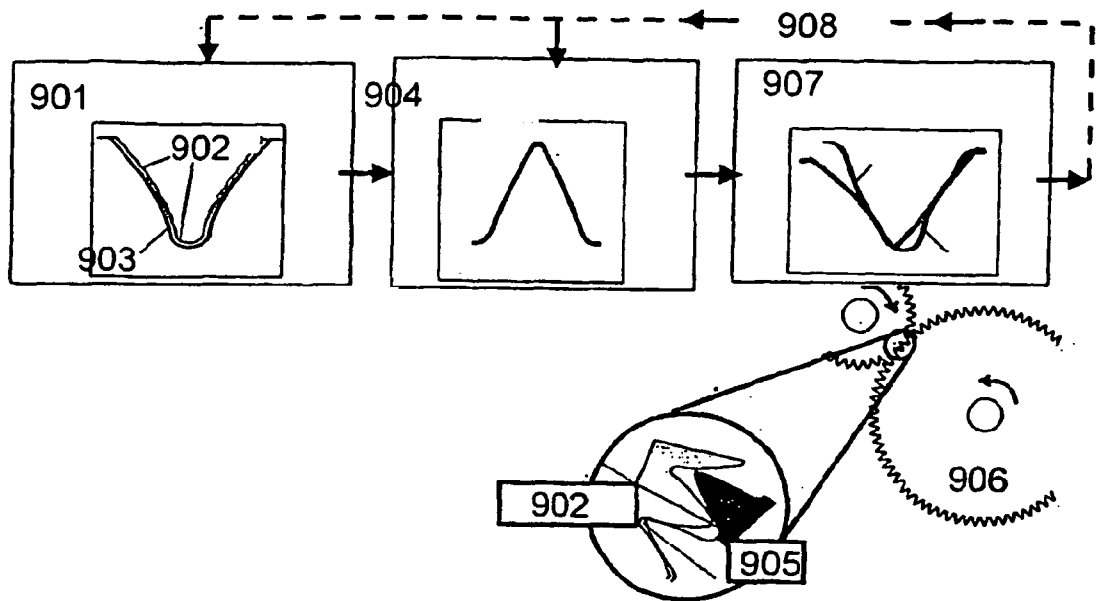


Fig. 9

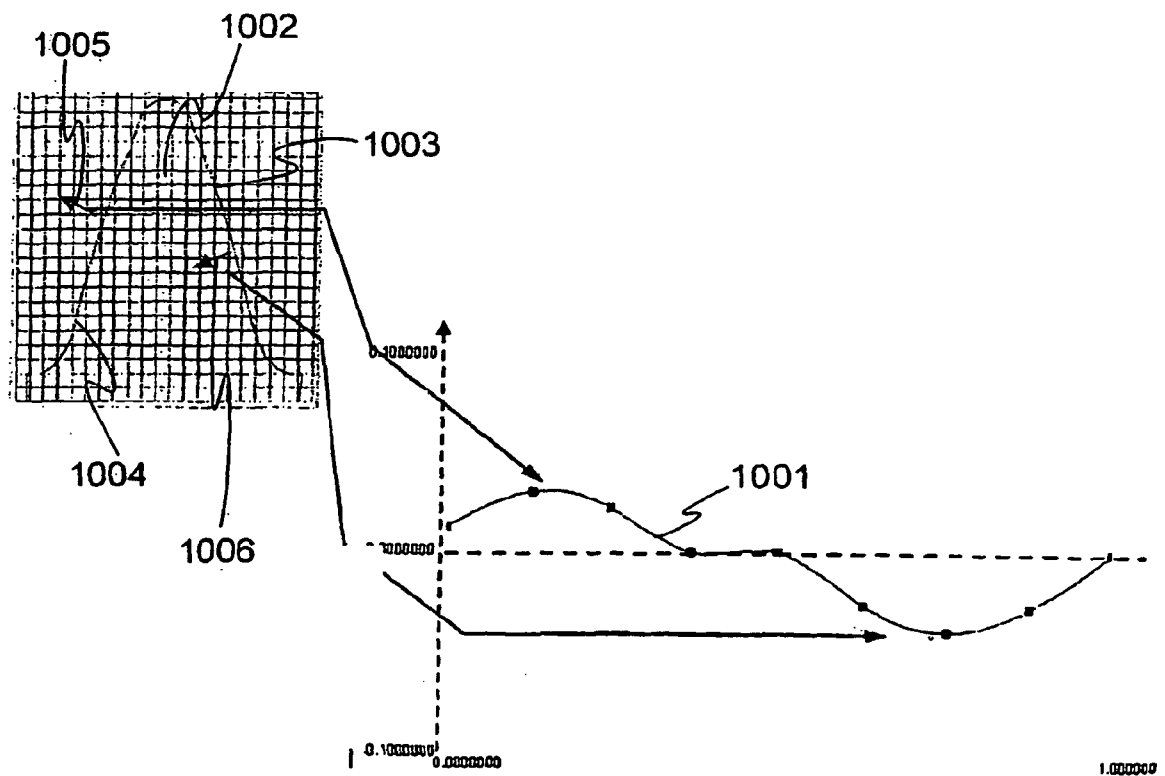


Fig. 10

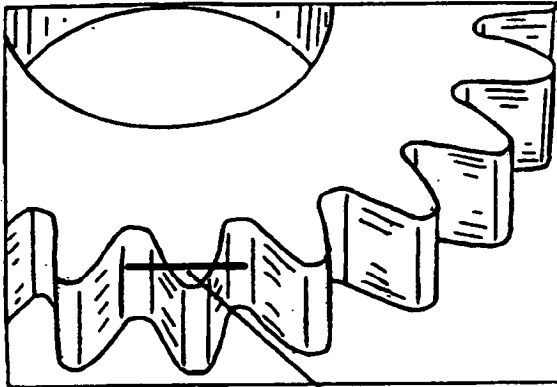


Fig.11



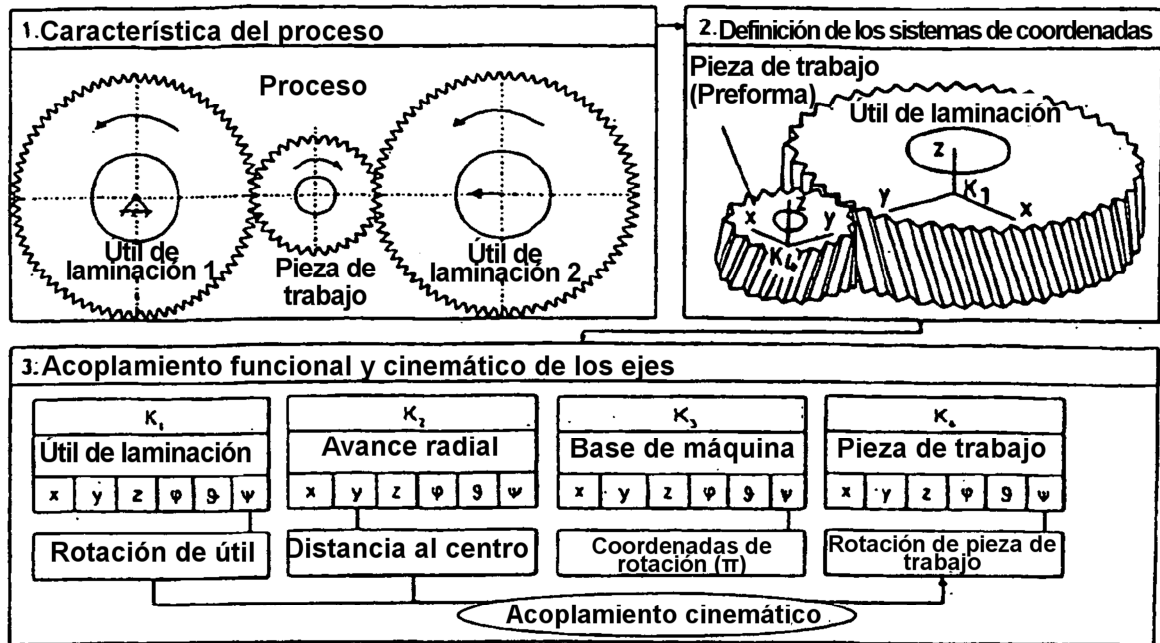


Fig.13

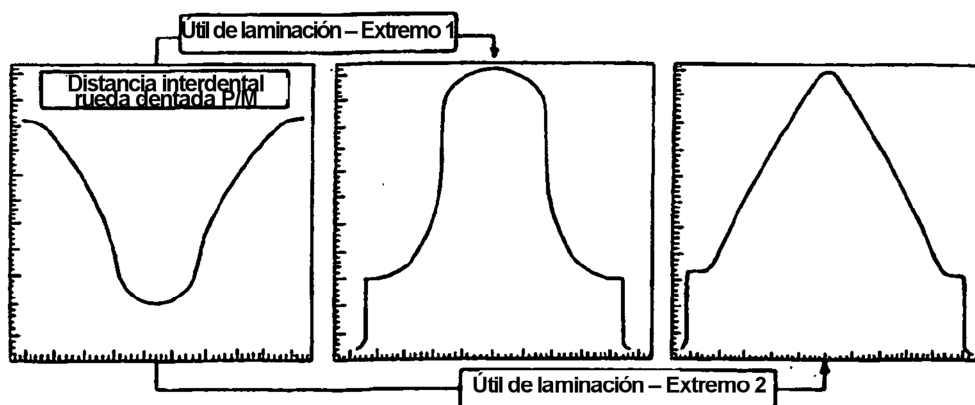


Fig.12

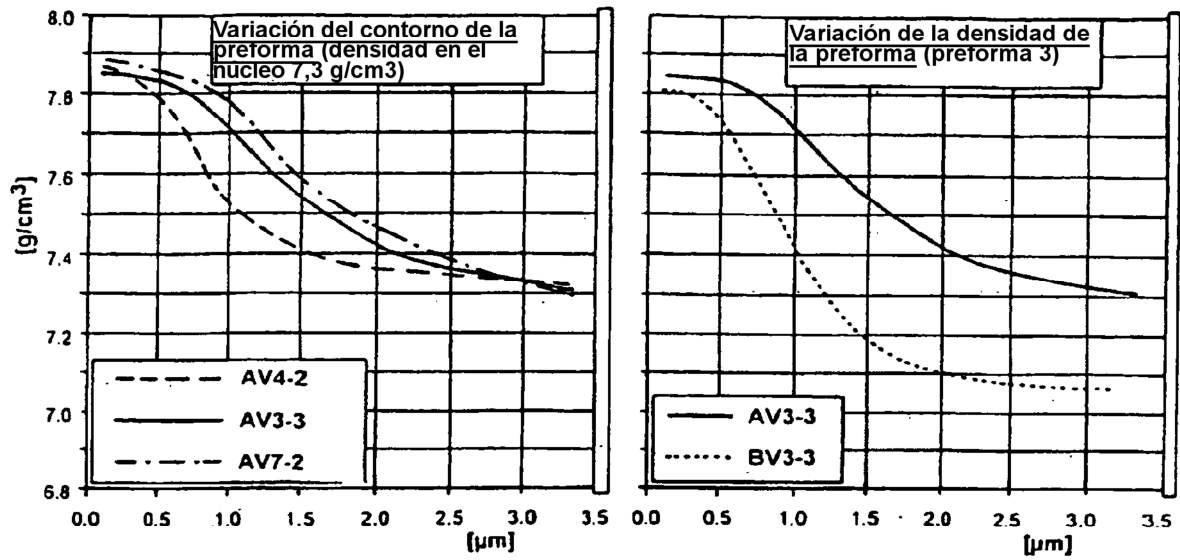


Fig.14

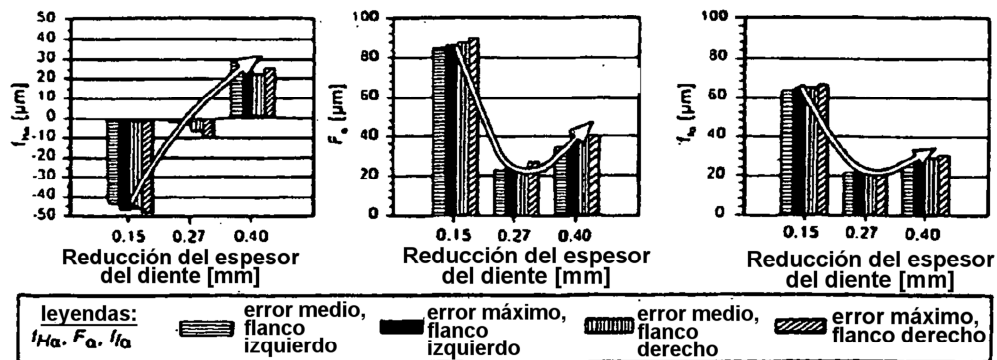


Fig.15

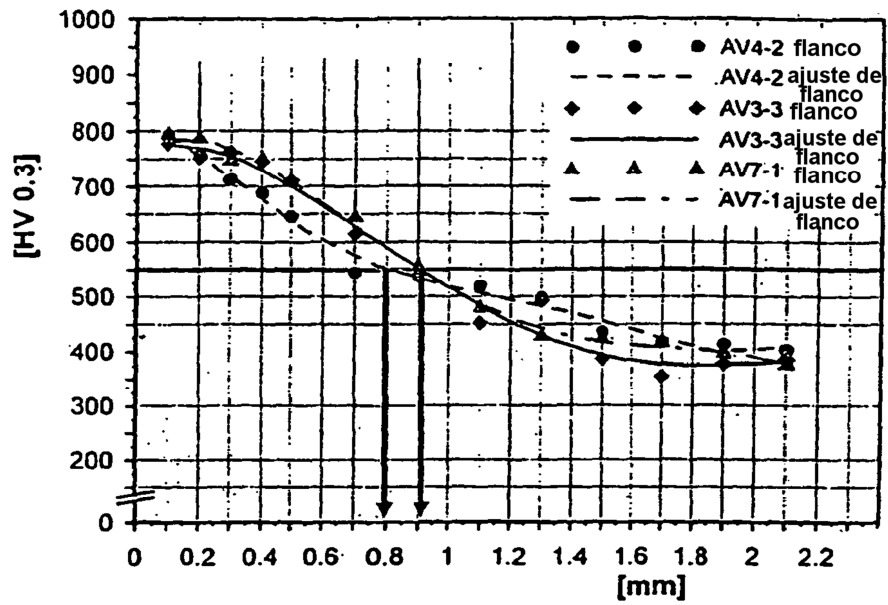


Fig. 16

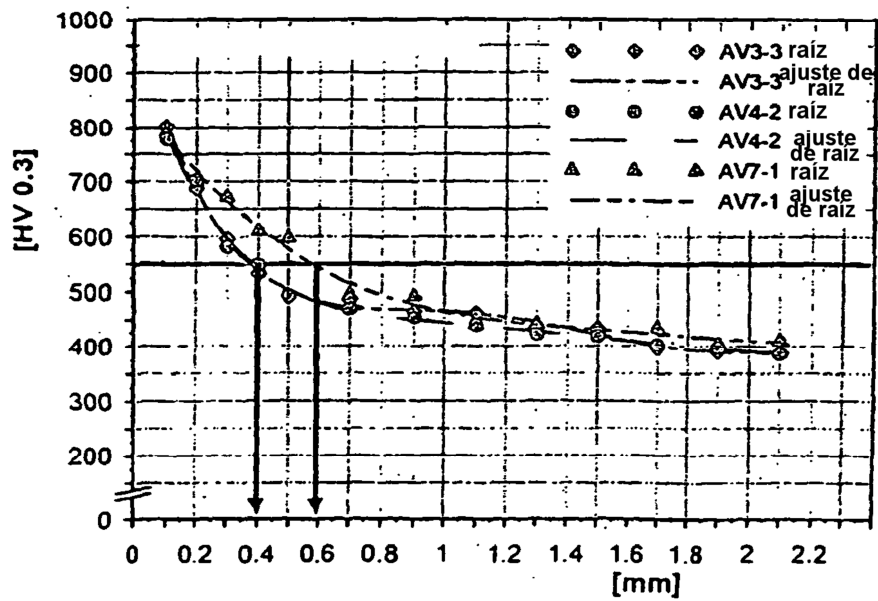


Fig. 17

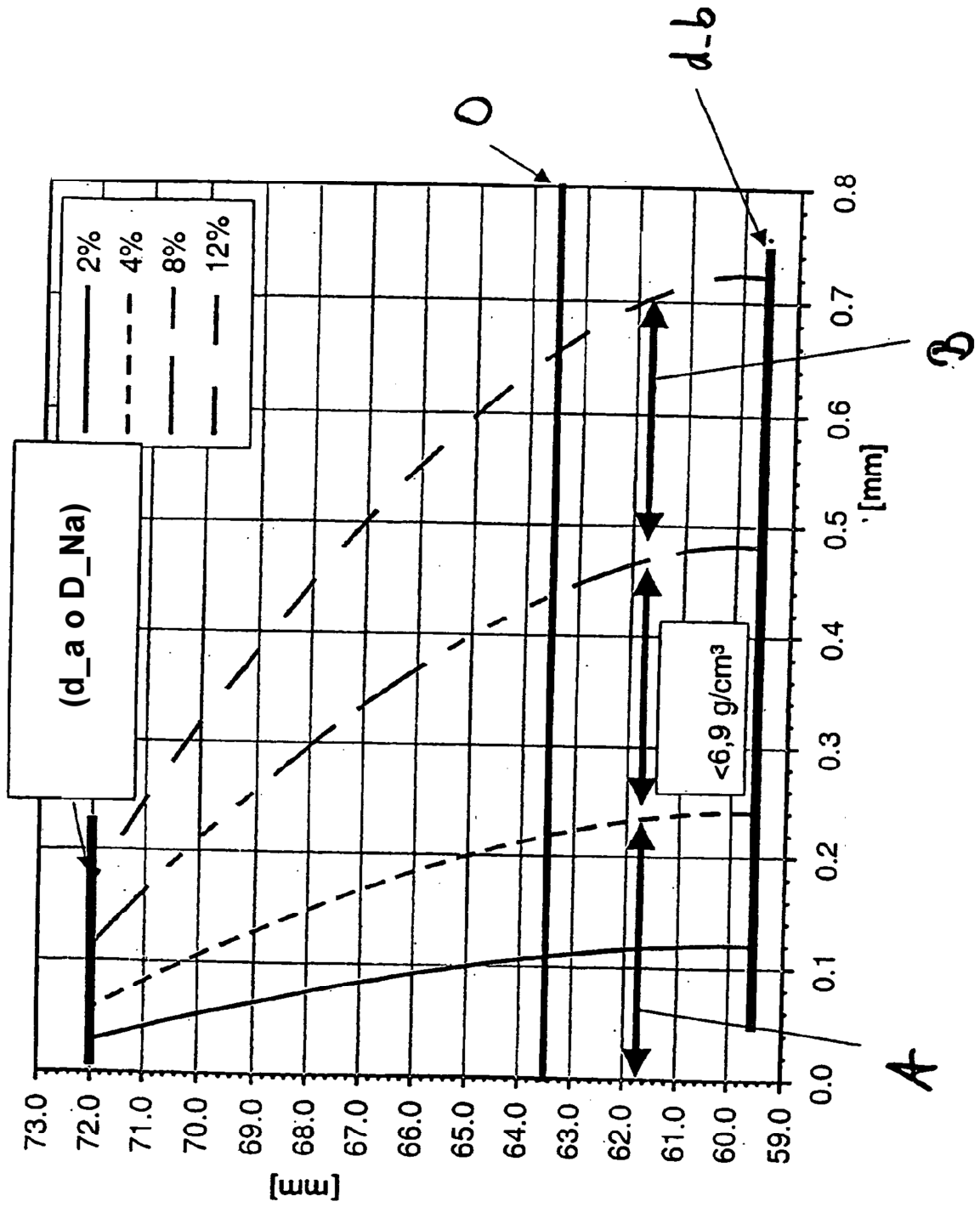
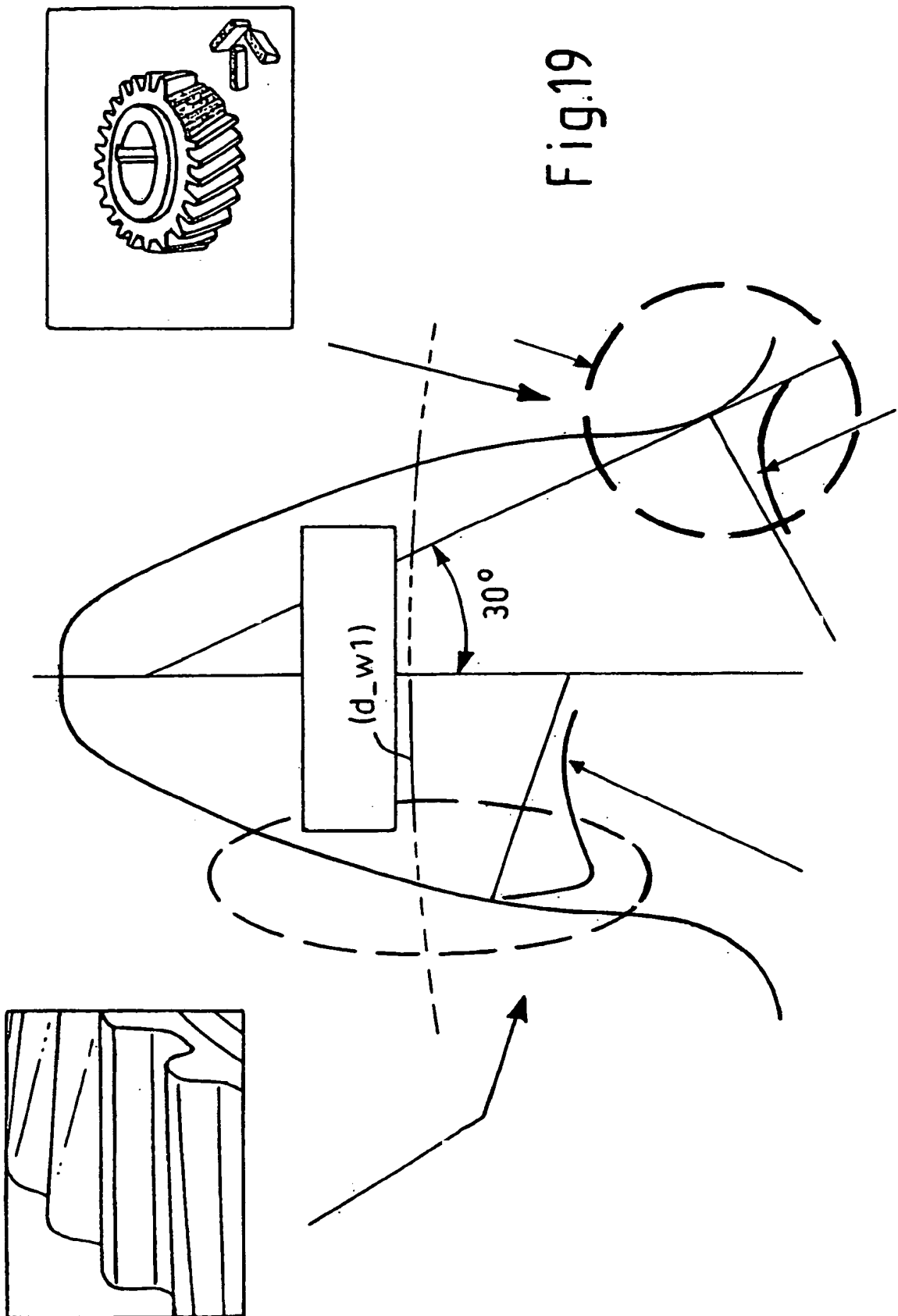


Fig. 18



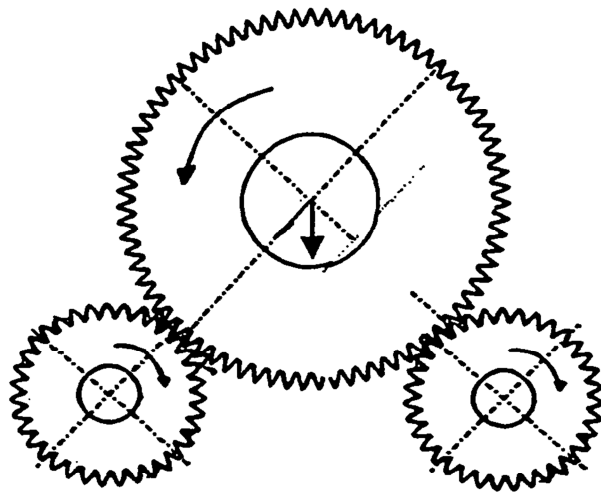


Fig. 20