

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 924**

51 Int. Cl.:

B22F 5/08 (2006.01)

B21H 5/02 (2006.01)

F16H 55/06 (2006.01)

B22F 3/24 (2006.01)

F16H 55/08 (2006.01)

B22F 7/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.06.2006 E 06754217 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **05.03.2008 EP 1893373**

54 Título: **Compactación superficial de un dentado mediante la ayuda de un cálculo iterativo**

30 Prioridad:

10.06.2005 DE 102005027144

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

06.02.2013

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KOTTHOFF, GERHARD y
LEUPOLD, BJÖRN**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 394 924 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

Compactación superficial de un dentado mediante la ayuda de un cálculo iterativo.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la compactación superficial, a una utilización de una máquina y a un programa de ordenador correspondientes.

10 Los elementos de dentado sinterizados tales como, por ejemplo, ruedas dentadas fabricadas mediante metalurgia de polvos, se utilizan en campos muy extensos. Los materiales sinterizados presentan en general una densidad baja en comparación con materiales forjados de manera convencional hechos, por ejemplo, de acero. Por ello es deseable una compactación superficial de una pieza sinterizada.

15 De la disertación "Neue Verfahren zur Tragfähigkeitsteigerung von gesinterten Zahnräder", Gerhard Kotthoff, tomo 23/2003, Shaker Verlag, ISBN 3-8322-2125-5, se desprenden investigaciones fundamentales partiendo de las cuales se ajusta, haciendo uso de traslados de la técnica de mecanizado, un laminación superficial de ruedas dentadas para el aumento de la densidad y de la resistencia.

20 La patente US nº 5.528.917 se refieren una máquina de laminación, gobernada mediante fuerza, en la cual se mecanizan ruedas dentadas fresadas cilíndricamente.

La presente invención se plantea el problema hacer posible una mejora de un curso de la resistencia de un elemento de dentado metálico que presenta un material sinterizado. La invención se plantea además el problema de simplificar un diseño de dentados hechos material sinterizado.

25 Este problema se resuelve mediante un procedimiento para la compactación superficial con las características de la reivindicación 1, con una utilización de una máquina con las características de la reivindicación 7 así como un producto de programa de ordenador según la reivindicación 8. En las reivindicaciones dependientes correspondientes se indican estructuraciones y perfeccionamientos ventajosos. Las características indicadas en cada caso en la descripción pueden ser conectadas, en general así como también de manera especial, con otras características para obtener perfeccionamientos. En especial no deben considerarse como limitantes los ejemplos indicados con sus correspondientes características. Las características indicadas allí se pueden conectar más bien también con otras características de otros ejemplos o de la descripción general.

35 De acuerdo con una idea de la invención, se propone un procedimiento para la compactación superficial de un dentado, calculándose de manera iterativa un cierto número de repeticiones de un movimiento de compactación de una herramienta de conformación para la compactación superficial de una superficie en la preforma para obtener una forma final predeterminada, calculándose de manera iterativa un número de pasadas hasta obtener una densidad superficial predeterminada y un avance de la herramienta de conformación, teniéndose en cuenta un componente elástico de un material sinterizado utilizado del dentado gracias a que, después de haberse alcanzado un contorno final propio, la herramienta penetra un poco más profundamente en la pieza. Preferentemente se calcula de manera iterativa una rodadura hasta alcanzarse una densidad superficial predeterminada. Un perfeccionamiento prevé que el avance de la herramienta de conformación se calcule de manera iterativa. De acuerdo con una estructuración tiene lugar menos de 20 veces una pasada de la preforma para la obtención de la geometría predeterminada de una forma final de la compactación superficial. Preferentemente, la pasada tiene lugar menos de 45 10 veces. En especial se lleva a cabo menos de 6 veces una pasada de la preforma, hasta que se alcanza una geometría predeterminada de una forma final de la compactación superficial. Al mismo tiempo hay que tener en cuenta que, de acuerdo con una estructuración, al alcanzarse la forma final no tiene lugar todavía una finalización de la compactación superficial. Más bien se hace pasar a continuación repetidas veces, en especial menos de 25 veces, preferentemente menos de 15 veces, la herramienta por encima se la superficie. Con ello se asegura la 50 precisión de la forma superficial. Por lo demás se puede entender por pasada también una generación.

55 Se da a conocer además un procedimiento para la compactación superficial de un dentado en el cual se lleva a cabo una rodadura en un dentado de un material sinterizado, con el fin de compactar la preforma para dar la forma final de una compactación superficial. Por sentido contrario de giro cabe entender que se invierte un movimiento relativo entre la herramienta y la pieza. O bien gira la herramienta en la dirección opuesta a la dirección anterior o es la herramienta la que invierte su dirección de movimiento anterior. Un perfeccionamiento prevé que la pieza y la herramienta sean ralladas en cada caso. Por ello invierten ambas, en un caso de este tipo, también su dirección de movimiento.

60 Preferentemente se lleva a cabo, antes de la inversión del sentido de procesado, una breve descarga de la preforma mediante una herramienta de conformación. Esto impide la formación de material compactado en la zona de la inversión del movimiento y con ello un daño de por lo menos la superficie. Se consigue además continuar minimizando los problemas durante la fabricación gracias a que se redujo la presión de la herramienta sobre la pieza antes de iniciarse la inversión del movimiento. En este caso la herramienta puede permanecer en contacto con la 65 pieza. Sin embargo, se puede soltar también brevemente de la superficie.

Se tiene en cuenta un componente elástico del material sinterizado utilizado gracias a que, después de alcanzarse el contorno final propiamente dicho, la herramienta penetra algo más profundamente en la pieza. Con ello se elimina un efecto "Spring-Back" del material sinterizado. La profundidad con la que penetra adicionalmente la herramienta y cuantas revoluciones más allá de la geometría final en la pieza dependen de diferentes parámetros. Preferentemente se determina mediante iteración en la cual intervienen diferentes parámetros tales como, por ejemplo, el material sinterizado utilizado, la temperatura, la densidad, la profundidad de la penetración, la dimensión, el contorno final.

En un perfeccionamiento del procedimiento para la fabricación de un elemento de dentado metálico, endurecido superficialmente por lo menos parcialmente, el cual presenta un material sinterizado compactado, se reviste una preforma del elemento de dentado con una medida excedente localmente selectiva hasta dar una medida final del elemento de dentado y es laminada, mediante por lo menos una herramienta de mortajar por generación, hasta una medida final, siendo compactado de manera variada localmente en una superficie el elemento de dentado, por lo menos en la zona de por lo menos un flanco y/o de un pie de un diente del elemento de dentado, para la generación de una capa de borde compactada.

Un elemento de dentado es, al mismo tiempo, por ejemplo una rueda dentada, una barra dentada, un talón, un rotor P, una corona dentada, una rueda dentada de cadena o similar. El material sinterizado compactado es fabricado, en especial, mediante procedimientos de la metalurgia de polvos. Por ejemplo, se sinteriza un polvo metálico, sometido a una presión en conexión con un tratamiento térmico. Demás, se moldea por inyección por ejemplo un polvo metálico en conexión con plástico así como se sinteriza en especial sometido a una presión preferentemente con un tratamiento térmico. Para la conformación de una pieza sinterizada se utiliza en especial un molde de sinterización, el cual presenta por lo menos aproximadamente la dimensión final del elemento de dentado que hay que fabricar. Preferentemente se utiliza como preforma la pieza que resulta directamente del proceso de sinterización. En otra variante se puede realizar después sin embargo también por lo menos un paso de procesamiento de la superficie. La preforma presenta, al mismo tiempo, un medida excedente la cual debe entenderse como diferencia con la medida final, estando definida la diferencia preferentemente de manera puntual perpendicular con respecto a la superficie.

Como herramienta de mortajar por generación se utiliza, por ejemplo, un cilindro, el cual está dotado con un dentado, que se puede hacer engranar con el dentado del elemento de dentado. Una herramienta de mortajar por generación de este tipo se hace rodar, en especial sometida a presión, sobre la superficie de un elemento de dentado. Preferentemente se utilizan en especial simultáneamente dos o más herramientas de este tipo. Por ejemplo, se puede disponer una rueda dentada que hay que fabricar en posición central entre dos herramientas de mortajar por generación. Mediante la aproximación de las dos herramientas de mortajar por generación se puede dar lugar por consiguiente a una compactación superficial del material sinterizado del dentado. En general un procedimiento de fabricación de este tipo parte, por ejemplo, de Takeya et al, "Surface Rolling of sintered gears", SAE 1982 World Congress, Technical Paper 820234. Del documento DE 33 250 37, el documento US 4.059.879, del documento EP 0 552 272 A1, del documento EP 1 268 102 A1, del documento US 5.729.822, del documento US 5.711.187, del documento US 5.884.527, del documento US 5.754.937, del documento US 6.193.927, del documento EP 0 600 421 A1, del documento GB 2.250.227 se desprenden respectivamente diferentes procedimientos de fabricación, materiales sinterizados, herramientas, desarrollo de la compactación y dispositivos para dentados sinterizados los cuales, adaptados a la invención, se pueden asimismo utilizar. A las publicaciones mencionadas más arriba se remite correspondientemente en el marco de esta exposición.

Por ejemplo, se puede utilizar también una primera herramienta de mortajar por generación, sometida a una primera presión, esencialmente para la laminación de un contorno basto y, a continuación, una segunda herramienta, sometida a una segunda presión, para la obtención de la compactación superficial que hay que ajustar de forma selectiva.

La medida excedente localmente selectiva debe dimensionarse en especial de tal manera que el elemento de dentado sea compactado variado localmente en una superficie por lo menos en la zona de por lo menos un flanco y/o de un pie de un diente del elemento de dentado en una capa del borde. Preferentemente se consigue, dentro de la capa de borde compactada, una densidad completa, debiendo entenderse la densidad completa preferentemente referida a la densidad de un dientes forjado mediante polvos comparable. Una preforma de un material de trabajo sinterizado presenta, por ejemplo, un núcleo con una densidad de por lo menos $6,8 \text{ g/cm}^3$, preferentemente de por lo menos $7,1 \text{ g/cm}^3$ y, en especial, por lo menos $7,3 \text{ g/cm}^3$. En la zona 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 mediante polvos a partir del mismo material de trabajo. De forma especialmente ventajosa se consigue al mismo tiempo un recorrido de resistencia adecuado a la solicitud. Además, se proporciona, mediante un recorrido de densidad variable localmente y adecuado a la solicitud, un dentado sinterizado a gran resistencia. El recorrido de la densidad puede presentar, en especial en las zonas más fuertemente solicitadas, un grado de densidad mayor a lo largo de una zona mayor en comparación con zonas, directamente contiguas, de menor carga. Mediante la determinación de una medida excedente optimizadas se puede fabricar un dentado fabricado de esta manera también de forma rentable en pocos pasos de trabajo.

De acuerdo con una estructuración se genera conjuntamente la en cada caso capa de borde compactada de manera diferente mediante una medida excedente diferente a lo largo de un flanco y/o de un pie de diente de la preforma. Está previsto, por ejemplo, que una profundidad de la capa de borde compactada, considerada en cada caso perpendicularmente con respecto a la superficie, presente un máximo de la densidad aproximadamente en la zona de una sollicitación máxima. Esto puede suceder, por ejemplo, a media altura del diente y reducirse en cada caso de forma constante hasta cero hacia la cabeza del diente y hacia el pie del diente. En especial para evitar formación de hoyuelos se prevé, por ejemplo, que en una zona comprendida entre el 20% y el 30%, en especial entre el 23% y el 25% por debajo del círculo de paso, se ajusta una compactación especialmente grande en el material sinterizado. Se pueden prever sin embargo también otros recorridos. En especial se tiene en cuenta, en un diseño de un recorrido de compactación, un recorrido de la fuerza sobre un flanco de diente del elemento de dentado en cuanto a su propósito de utilización adecuado al uso. Por ejemplo, se incluyen para ello las fuerzas que aparecen en un engranaje en las ruedas de una rueda dentada y se incluyen los recorridos de tensión de comparación resultantes por debajo de la superficie. Esta forma de proceder es posible también en otros dentados.

Es especialmente ventajoso que una medida excedente sobre un primer flanco del diente se elija de una forma diferente que sobre un segundo flanco del diente. Al mismo tiempo se tiene en cuenta en especial una dirección de transmisión de la fuerza en un propósito de utilización adecuado al uso de un elemento de dentado. En una rueda dentada en un engranaje se tiene en cuenta para ello, por ejemplo, que dependiendo de una dirección de giro, en la dirección de giro aparecen otras fuerzas en los flancos del diente que en contra de la dirección de giro. Además, se puede compensar una compactación diferentes a causa de la dirección de giro de la herramienta de mortajar por generación. Preferentemente las medidas excedentes se eligen de tal manera que, después de un proceso de compactación, resulta un recorrido de compactación idéntico a lo largo del primer y el segundo flanco de diente.

Por ejemplo, para evitar grietas por tensiones en un pie de diente o una zona de pie de diente se aspira a tener una capa superficial compactada localmente también en estas zonas. Es especialmente adecuado cuando en un pie de diente se elige una medida excedente asimétrica. Por ejemplo, la zona de pie de diente izquierda presenta una profundidad de compactación diferente que la zona de pie de diente derecha. En especial se puede proporcionar en cada caso, entre dos dientes, una variación preferentemente continua de una profundidad de una capa de borde mediante una variación correspondiente de la medida excedente.

Preferentemente se prevé, en la estructuración de un dentado, una medida excedente diferente, en especial asimétrica, no únicamente con respecto a un flanco sino, preferentemente, con respecto a dos flancos situados opuestos. De manera adicional se prevé una medida excedente diferente en el pie del diente, la cual es preferentemente asimétrica. Los flancos de diente y los pies de diente de un dentado pueden ser también respectivamente asimétricos. Como medida excedente no debe entenderse aquí únicamente proporcionar material adicional. A ello pertenece también más bien una diferencia inferior. Por ello hay que entender que está previsto menos material sinterizado en una zona del que debería estar previsto, con respecto a su contorno final, después de un paso de procesamiento. La diferencia inferior determinada asegura, por ejemplo, que en caso de desplazamiento de material sinterizado no aparezcan elevaciones no deseadas. La diferencia inferior representa por ello una zona de una preforma con un dentado que hay que rellenar a causa en especial del desplazamiento de material sinterizado.

Existe además la posibilidad de prever diferentes ángulos de engrane en un diente de un dentado. De este modo el ángulo de ataque de un flanco del diente puede diferir en por lo menos un 15% del ángulo de engrane del otro flanco del diente.

En una estructuración está previsto que por lo menos 20 μm por debajo de una superficie de un primer flanco del diente se genere una densidad, entre un 2 % y por lo menos un 15 % mayor, que sobre un segundo flanco del diente, a la misma altura. Preferentemente se consigue sobre el primer flanco del diente una densidad la cual corresponde aproximadamente a la densidad que se consigue para un elemento de dentado forjado mediante polvos, mientras que por el contrario el segundo flanco presenta una densidad menor. Por ejemplo se ajusta en un flanco una densidad comprendida en un margen entre 7,2 g/cm^3 y 7,7 g/cm^3 , mientras que en la zona correspondiente del segundo flanco se ajusta una densidad comprendida entre 7,5 g/cm^3 y 7,82 g/cm^3 . Se tiene en cuenta con ello en espejuela de nuevo, por ejemplo, cargas diferentes dependientes de la dirección de giro de los dos flancos de diente. Con ello se consigue preferentemente un recorrido de elasticidad y de dureza acorde con los requerimientos. Se reduce, de manera asimismo preferida, con ello una generación de ruido, por ejemplo, en un engranje.

Está previsto además que una medida excedente local sobre un primer flanco del diente se elija por lo menos un 10% mayor que una medida excedente sobre el segundo flanco del diente, a la misma altura. En una primera variante se consigue con ello, por ejemplo, que debido a la diferente carga con presión durante la compactación se consiga, dependiendo de la dirección de giro, un recorrido de compactación idéntico sobre el primer y el segundo flanco de diente. En otra variante se consigue, por ejemplo, un recorrido de compactación diferentes sobre el primer y el segundo flanco de diente. Aquí se pueden ajustar de manera selectiva en especial densidades máximas diferentes, sus profundidades así como también su lugar en respecto a la altura del dentado.

Es especialmente adecuado que un valor de una medida excedente localmente máxima valga por lo menos 15 μm , preferentemente por lo menos 100 μm y, en especial, preferentemente por lo menos 400 μm . Si la densidad de la preforma está en el margen comprendida entre 7,2 g/cm^3 y 7,5 g/cm^3 , se prevé preferentemente una medida excedente máxima comprendida entre 20 y 150 μm . Si la densidad de la preforma está comprendida entre 6,7 g/cm^3 y 7,2 g/cm^3 , se utiliza preferentemente una medida excedente máxima comprendida entre 50 μm y 500 μm . Una medida excedente puede ser al mismo tiempo también negativa localmente, teniéndose en cuenta por ejemplo una redistribución lateral de material. Una redistribución lateral puede tener lugar a causa de fluencia de material como consecuencia de un proceso de laminado. En especial puede estar prevista una medida excedente por lo menos localmente negativa la cual esté localmente por debajo de la medida final. La medida excedente negativa es como máximo de 100 μm . De acuerdo con una estructuración, la medida excedente negativa es como máximo inferior a 50 μm y, en especial, inferior a 20 μm . En especial la medida excedente negativa máxima está comprendida en un margen entre 100 μm y 20 μm .

Preferentemente se consigue una compactación la cual alcanza, por lo menos en una zona de un flanco de diente del dentado, una profundidad comprendida entre 1 mm y 1,5 mm. La compactación en el pie del diente puede ser por el contrario inferior. De acuerdo con una estructuración la profundidad máxima de la compactación de un flanco de diente es por lo menos un factor 6 mayor que una profundidad máxima de una compactación en una zona del pie del diente correspondiente. Esto permite que el dentado tenga, por un lado, una resistencia suficiente y, por el otro, conserve sin embargo una cierta posibilidad de deformación. Con ello se evita una rotura de diente.

En una estructuración del procedimiento está previsto que la preforma y la herramienta de mortajar por generación se hagan rodar una encima de otra, hasta que se genera un movimiento finalmente conformador entre el elemento de dentado generado con ello y la herramienta de mortajar por generación. Esto se utiliza, por ejemplo, para la fabricación de ruedas dentadas que están engranadas entre sí. Preferentemente se reduce, durante el proceso de generación con la herramienta de mortajar por generación, una distancia entre la herramienta de mortajar por generación y la preforma. Para ello se ajusta o se adapta correspondientemente en especial una presión de generación. Además de la posibilidad de un control de la fuerza puede estar realizada en la máquina un control de la trayectoria. Existe además la posibilidad de prever una combinación de control de la fuerza y de la trayectoria durante la fabricación del dentado. Al mismo tiempo puede tener lugar también en una sección de la fabricación un control puro de la trayectoria y en otra sección de la fabricación un control puro de la fuerza. Estos se pueden intercambiar también múltiples veces.

En otra estructuración está previsto que mediante el movimiento de laminación entre la preforma y la herramienta de mortajar por generación se forme un dentado en forma de cicloide y/o de evolvente.

Otra mejora de un templado superficial se puede conseguir en especial gracias a que el procedimiento para la fabricación de por lo menos un elemento de dentado metálico, compactado superficialmente por lo menos de manera parcial, comprenda un proceso de templado superficial térmico y/o químico.

En una primera variante se utiliza como proceso de templado térmico y/o químico por ejemplo un templado por cementación. Preferentemente se consigue con ello, además de un aumento de la dureza, una reducción de las tensiones. En otra variante se utiliza, por ejemplo, un proceso de carbonitruración. Además se puede utilizar un proceso de nitruración o de nitrocarburoización así como un proceso de boronización. En estos procesos se consigue en especial, en relación con un tratamiento térmico, asimismo una reducción de la tensión. Mediante ajuste de la presión reinante se puede ejercer influencia sobre el templado. Se puede ajustar por ejemplo un vacío, en especial cuando se lleva a cabo un templado por cementación. Existe también la posibilidad de llevar a cabo un templado por inducción.

El templado se lleva a cabo, de acuerdo con una estructuración, únicamente de forma parcial, por ejemplo únicamente en la zona del dentado.

En una variante preferida está previsto que un procedimiento para la fabricación de un elemento de dentado metálico, templado superficialmente por lo menos en parte, el cual presenta un material sinterizado compactado, comprenda los pasos "prensado en frío o en caliente, sinterizado, laminación de compactación a medida y superficial así como templado por cementación". Por ejemplo, en primer lugar tiene lugar un prensado en frío de un polvo metálico en un molde, el cual presenta por lo menos aproximadamente la medida final del elemento de dentado que hay que fabricar. En un segundo paso tiene lugar, por ejemplo, el proceso de sinterización con acción del calor, con o sin acción de la presión. Conectado preferentemente a él tiene lugar a continuación la compactación a medida y superficial mediante laminación. Como se ha mencionado ya más arriba, una laminación de compactación a medida y superficial tiene lugar, preferentemente, de forma simultánea mediante por lo menos dos herramientas de mortajar por generación. A continuación puede tener lugar, por último, el templado. En especial el templado por cementación, que hace posible un templado adicional de la superficie.

Otros posibles pasos del procedimiento o cursos del procedimiento así como también indicaciones más detalladas acerca de las piezas se indican a continuación a título de ejemplo. Los pasos del procedimiento se pueden llevar a cabo, sin embargo, también con otros materiales y valores de densidad alcanzados. Los materiales sinterizados que

ES 2 394 924 T3

se pueden utilizar son utilizables en general en el marco de la invención de la manera siguiente, indicándose a título de ejemplo materiales que se pueden utilizar:

- 5 - 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

10 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, difusión alloyed powders): un polvo en el cual los componentes de la aleación están ligados con polvo elemental o con polvo aleado previamente. Por ejemplo: Distaloy AB, Distaloy 4600A, Distaloy AE, Distaloy 4800A

- 15 - polvos aleados previamente (pre-alloyed powders): polvo de dos o más elementos, los cuales son aleados durante la fabricación del polvo, siendo las partículas de polvo distribuidas de manera uniforme. Por ejemplo: Ancorsteel 4600V, Ancorsteel 200, Ancorsteel 86, Ancorsteel 150Hp

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

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

25 Ancorsteel 85P+1,1-1,6 w/o FeMn + 0,35-0,65 w/o grafito + 0,6-0,95 w/o aditivo de lubricación

1. La pieza presenta una densidad del núcleo comprendida entre 6,5 y 7,5 g/cm³. La densidad superficial es mayor de 7,5 g/cm³. Se genera una densidad máxima hasta una profundidad de 0,1 mm.

30 Los materiales de partida para la preforma son polvos de metal sinterizado, en especial materiales existentes, materiales parcialmente aleados o aleaciones híbridas.

Con un material existente se lleva a cabo un prensado en frío, una sinterización en un margen de temperatura comprendido entre 1100°C y 1150°C, una compactación superficial, un templado por cementación y un amolado a continuación, con el fin de obtener una forma final de una pieza con dentado.

35 Con un material sinterizado metálico parcialmente aleado se lleva a cabo un prensado en caliente, a una temperatura de prensado comprendida en un margen entre 50°C y 80°C, una sinterización a alta temperatura en un margen comprendido preferentemente entre 1250°C y 1280°C, una compactación superficial, un templado por cementación en vacío posterior y un bruñido para obtener una forma final de una pieza con dentado.

40 Con un material sinterizado que presenta una aleación híbrida se lleva a cabo un prensado en caliente, durante el cual el polvo y la herramienta están preferentemente calentados. Estos están calentados preferentemente en un margen comprendido entre 120°C y 150°C. A continuación tubo lugar un paso de sinterización, por ejemplo como sinterización a alta temperatura, una compactación superficial y, a continuación, un templado por inducción. Se puede suprimir por ejemplo un procesamiento posterior.

50 2. La preforma está forjada mediante polvo. Esta preforma es compactada superficialmente por lo menos de manera parcial en la zona de los flancos de diente y/o del pie del diente. Una densidad de núcleo de la pieza está comprendida entre 5,7 g/cm³ y 7,7 g/cm³. Una densidad superficial en la zona del es mayor que 7,8 g/cm³, estando preferentemente en esta zona obturados todos los poros residuales de la superficie. Se puede generar sin embargo también una densidad máxima hasta una profundidad de 1,5 mm.

55 Un procedimiento de fabricación se puede desarrollar como sigue: elección del material de polvo, prensado en frío del material de polvo, sinterización, preferentemente a una temperatura de aproximadamente 1120°C, forjado a continuación, preferentemente a una temperatura alrededor de 1000°C, eventual retirada de una capa de oxidación, compactación superficial en especial mediante fresado por generación, templado superficial, en especial templado por cementación, y eventual amolado parcial, a continuación, hasta obtener el contorno final. El procedimiento puede desarrollarse, en su totalidad o en parte, en una cadena de producción continua.

60 Otra estructuración prevé que durante el templado superficial se lleve a cabo un templado por cementación al vacío, al que sigue un paso de bruñido para zonas parciales del dentado.

65 3. En especial para la producción de rotores y ruedas de bombas de aceite se compacta superficialmente, e la zona de los flancos de diente y/o de los pies de los dientes, una preforma hecha de un material que contiene aluminio. Durante la compactación superficial se consigue en especial una forma final del dentado. La densidad del núcleo de la pieza está comprendida, preferentemente, entre 2,6 g/cm³ y 2,8 g/cm³.

El material sinterizado es prensado por ejemplo en caliente, por ejemplo a una temperatura comprendida entre 40°C y 65°C, a continuación se elimina la cera, por ejemplo a una temperatura superior a los 400°C, en especial en un margen de temperatura comprendido entre 420°C y 440°C, se sinteriza, por ejemplo en un margen de temperatura por encima de 550°C, en especial en un margen de temperatura comprendido entre 600°C y 630°C, entonces es homogeneizado y enfriado, por ejemplo hasta una temperatura comprendida entre 480°C y 535°C, teniendo lugar a continuación una compactación superficial en especial mediante laminado. A continuación puede tener lugar en templado, por ejemplo en un margen de temperatura comprendido entre 120°C y 185°C durante un intervalo de tiempo comprendido entre 6 h y 24 h.

4. La preforma es compactada preferentemente a lo largo del flanco del diente u del pie del diente, utilizándose preferentemente dos herramientas de mortajar por generación, en cuyo centro la preforma es dispuesta con posibilidad de giro. La densidad del núcleo de la pieza está comprendida, dependiendo del material, preferentemente entre 7,2 g/cm³ y 7,5 g/cm³, la densidad superficial es dependiendo del material, por lo menos por secciones, mayor que 7,8 g/cm³. Existe una densidad máxima, en especial hasta una profundidad de 1 mm, eventualmente incluso a mayor profundidad.

De los pasos de fabricación se propone, de acuerdo con una estructuración, que el material aleado previamente sea prensado en frío, sea sinterizado a continuación, en especial en un margen de temperatura comprendido entre 1100°C y 1150°C, se lleve a cabo una compactación superficial, se realice un templado y la superficie sea eventualmente amolada parcialmente.

Otra estructuración prevé prensar en caliente un material sinterizado parcialmente aleado, en especial en un margen de temperatura comprendido entre 50°C y 90°C, llevar a cabo una sinterización a alta temperatura, en especial en un margen de temperatura comprendido entre 1240°C y 1290°C, llevar a cabo una compactación superficial, llevar a cabo un templado por cementación en vacío y bruñirlo eventualmente a continuación.

Otra estructuración prevé prensar una aleación híbrida en caliente, siendo calentado el polvo y la herramienta de compresión preferentemente en un margen de temperatura comprendido entre 120°C y 160°C. Tras un paso de sinterización tiene lugar una compactación superficial, a la cual sigue un templado, preferentemente un templado por inducción.

5. Existe además la posibilidad de que a una sinterización previa le siga una compactación superficial y después, de nuevo, una sinterización de acabado como paso del procedimiento durante la fabricación de una pieza con dentado. La sinterización previa puede tener lugar, por ejemplo, en un margen de temperatura comprendido desde 650°C hasta 950°C. La sinterización de acabado puede tener lugar por ejemplo para una temperatura de sinterización usual para el material, comprendida entre 1050°C y 1180°C. Existe también la posibilidad de la sinterización a alta temperatura, por ejemplo en el margen comprendido entre 1250°C y 1280°C. Después de ella puede tener lugar de manera óptima en templado y/o un procesamiento posterior, por ejemplo un bruñido o un amolado.

El prensado precedente puede tener lugar en frío, en caliente o recalentado, estando en este último la herramienta de compresión y el polvo calentados preferentemente. El prensado calentado tiene lugar en un margen de temperatura comprendido entre 120°C y 160°C.

6. Un perfeccionamiento prevé que a un paso de sinterización de acabado le siga un templado de sinterización. Opcionalmente puede estar seguido de un amolado o un bruñido.

7. Otro procedimiento de fabricación prevé compactar la preforma a una temperatura la cual sea superior a 150°C, en especial superior a 500°C. Por ejemplo, la preforma puede ser conducida directamente desde el horno de sinterizado a una máquina para la compactación superficial. Al mismo tiempo la preforma puede presentar una temperatura de la cual sea, por ejemplo, superior a 600°C, la cual sea en especial también superior a 800°C. Preferentemente, se calientan la o las herramientas para la compactación superficial, por ejemplo a una temperatura de aproximadamente 150°C. De acuerdo con otra estructuración la herramienta para la compactación superficial está refrigerada, preferentemente mediante un refrigeración que discurre por el interior de la herramienta.

8. Otro procedimiento de fabricación prevé que tenga lugar una compactación superficial mientras que la preforma está calentada por lo menos parcialmente. El calentamiento tiene lugar en especial hasta una temperatura la cual simplifica la compactación superficial. Para ello se utiliza preferentemente un calentamiento por inducción. A continuación tiene lugar un enriamiento rápido, con el fin de crear una estructura martensítica. De esta manera se puede combinar, por ejemplo, un proceso de desmoldeo con una compactación superficial.

Además está previsto que se pueda llevar a cabo una compactación superficial mediante los procedimientos más diversos. Una estructuración prevé en especial que en una primera zona la identificación superficial se lleve a cabo con otro procedimiento diferente al de la segunda zona. Como procedimiento se pueden utilizar al mismo tiempo un granallado de endurecimiento, un chorreo con bolas, una compactación mediante una bola, mediante un cilindro o mediante otro cuerpo rotatorio, mediante herramientas estructuradas en forma de diente, en especial herramientas

de mortajar por generación y similares. Estos procedimientos son adecuados también en cada caso separados individualmente entre sí para permitir una compactación superficial necesaria.

Por ejemplo el pie del diente no es compactado o lo es ligeramente con una herramienta, con la cual es compactado también el flanco del diente. Existe la posibilidad de compactar la superficie en una sección de manera que estén obturados únicamente los poros de la superficie. A continuación el pie del diente puede ser procesado con otra herramienta o respectivamente con otro procedimiento de compactación superficial. En especial se puede conseguir con ello una compactación superficial diferente a lo largo del flanco del diente en comparación con el pie del diente. Por ejemplo se pueden ajustar de esta manera calidades superficiales diferentes, por ejemplo con respecto a la rugosidad. A causa de las diferentes técnicas puede ser diferente también la depresión superficial máxima. Existe además la posibilidad de que la totalidad de la pieza obtenga, junto con el dentado, una compactación superficial, por ejemplo durante el chorreo superficial. De esta manera se pueden procesar en especial también materiales sinterizados que contienen aluminio u otros materiales sinterizados que forman óxidos, dado que en la compactación superficial puede permitir también una retirada de la capa de óxido.

Además se da a conocer una preforma para un procedimiento para la fabricación de un elemento de dentado metálico templado superficialmente por lo menos parcialmente, el cual presenta un material sinterizado compactado, presentando un primer o segundo flanco de un diente en cada caso medidas excedentes asimétricas que difieren entre sí. Además, está previsto también que una primera y una segunda zona del pie de un diente presenten medidas excedentes, en especial asimétricas, diferentes entre sí.

Se da a conocer también un elemento de dentado con una material de trabajo sinterizado metálico, presentando el elemento de dentado por lo menos en la zona de por lo menos un flanco de un diente del elemento de dentado una compactación variada localmente. Preferentemente se hace posible con ello una elasticidad adecuada para muchas aplicaciones del material de metalurgia de polvos en conexión con un templado superficial. De manera especialmente preferida se hace posible en ruedas dentadas de engranajes una reducción del ruido durante la transmisión de fuerza y, al mismo tiempo, se proporciona una buena resistencia al desgaste.

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

En especial para una transmisión de fuerza mejorada así como también para la reducción del ruido entre las ruedas dentadas está previsto en otra variante que el elemento de dentado sea una rueda dentada de dientes oblicuos. Además, en otra variante puede estar prevista también una rueda dentada cónica. En correspondencia con la descripción realizada más arriba es adecuado que algunos de los flancos opuestos de los dientes de un elemento de dentado presenten una compactación asimétrica.

Además es adecuado que la compactación asimétrica exista en una zona del pie. Esta compactación está adaptada en especial a las fuerzas que aparecen en una utilización adecuada al uso. Para evitar grietas por tensiones está previsto en especial que la profundidad de la capa de borde compactada localmente sea únicamente tal que esté garantizada una elasticidad o rigidez suficiente del diente. Se prefiere especialmente que la profundidad de la capa de borde compactada sea en la zona del pie menor que sobre el flanco del diente.

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

Preferentemente para la reducción de un peso de un elemento de dentado está previsto que como componente principal del material de trabajo sinterizado se elija aluminio o magnesio. De acuerdo con un aspecto de la invención está previsto que un dentado compactado superficialmente hecho de material sinterizado presente por lo menos un 80% de aluminio así como por lo menos cobre y magnesio como materiales sinterizados adicionales. Una primera estructuración prevé que se utilice adicionalmente silicio como material sinterizado. Por ejemplo, el silicio puede estar presente en un margen de aproximadamente 0,45% hasta aproximadamente 0,8%, preferentemente entre el 0,6% y el 0,75%. El silicio puede estar presente sin embargo también en un margen mayor, por ejemplo entre el 13% y el 17%, en especial entre el 14,5% y el 15,5%. Si la proporción de silicio es mayor, se reduce la porción de cobre en el material sinterizado. De este modo puede presentar una primera mezcla, por ejemplo, cobre con una porción del 4% al 5%, silicio con una porción de 0,45% hasta aproximadamente 0,8%, magnesio con una porción de aproximadamente 0,35% hasta 0,7% y el resto por lo menos principalmente aluminio. Adicionalmente se añade preferentemente un medio auxiliar de compresión. Éste puede presentar una porción comprendida entre el 0,8 y el 1,8%. Para ello se puede utilizar por ejemplo una cera, en especial una cera de amida. Una segunda mezcla puede presentar, por ejemplo, cobre en una porción del 2,2% hasta el 3%, silicio con una porción del 13% hasta aproximadamente 17%, magnesio con una porción de aproximadamente 0,4% hasta el 0,9% y el resto por lo menos principalmente aluminio. Asimismo se puede utilizar un medio auxiliar de compresión, como se ha indicado más

arriba a título de ejemplo. Después de una compactación superficial presenta, por lo menos una zona del dentado, una densidad de por ejemplo más de $2,5 \text{ g/cm}^3$, preferentemente de hasta la densidad máxima. Una pieza con un dentado fabricada de esta manera presenta, preferentemente, una resistencia a la tracción e por lo menos 240 N/mm^2 y una dureza de por lo menos 90HB. Si la cantidad de silicio es mayor la densidad puede ser, en especial, superior a $2,6 \text{ g/cm}^3$.

Una segunda estructuración prevé que de manera adicional se utilice cinc como material sinterizado, junto a cobre y magnesio como aditivos y aluminio. Preferentemente el cobre está en una porción comprendida en un margen entre el 1,2% y el 2,1%, en especial entre el 1,5% y el 1,65%, el magnesio entre el 1,9% y el 3,1%, preferentemente entre el 2,45% y el 2,65%, el cinc entre el 4,7% y el 6,1%, en especial entre el 2,3% y el 5,55%. El resto es por lo menos principalmente aluminio. Aquí se puede utilizar adicionalmente un medio auxiliar de compresión, como se ha descrito más arriba. Una pieza con un dentado, fabricada con esta mezcla, presenta, preferentemente después de la compactación superficial, por lo menos en una zona del dentado, en la cual discurre una densidad de por lo menos $2,58 \text{ g/cm}^3$ hasta la densidad máxima. Una pieza con un dentado fabricada de esta manera presenta, preferentemente, una resistencia a la tracción de por lo menos 280 N/mm^2 y una dureza de por lo menos 120 HB.

Es especialmente adecuado que el elemento de dentado esté sinterizado con otro componente funcional, en especial un árbol u otra rueda dentada. Con ello se facilita en especial el mantenimiento de una distancia de trabajo precisa entre varios elementos de dentado, por ejemplo en un engranaje.

En otra estructuración está previsto que el elemento de dentado sea parte integrante de una bomba. Por ejemplo, se trata de una rueda dentada evolvente, la cual se engrana con otra rueda dentada evolvente.

Además, se da a conocer un dispositivo para la fabricación de un elemento de dentado compactado superficialmente, por lo menos de manera parcial, en especial para la realización de un procedimiento descrito más arriba con un control de herramienta adaptado de la medida excedente diferente. El dispositivo comprende al mismo tiempo en especial por lo menos una herramienta de mortajar por generación, la cual puede actuar, preferentemente con la ayuda del control de herramienta adaptado, preferentemente bajo una presión adaptada y/o una trayectoria controlada, en un engrane adaptado, sobre la preforma. El dispositivo comprende en especial una herramienta de mortajar por generación con una superficie dentada, la cual se puede engranar con el dentado del elemento de dentado y que se puede generar después.

Se da a conocer además un dispositivo para la fabricación de un elemento de dentado compactado superficialmente, por lo menos de manera parcial, a partir de una preforma formada, por lo menos en una zona superficial, con un material sinterizado, comprendiendo del dispositivo una herramienta, la cual la cual presenta una compensación de diferentes medidas excedentes en un primer y un segundo flanco de un diente de la preforma que hay que compactar mediante movimiento de generación. La herramienta de mortajar por generación puede presentar al mismo tiempo un contorno necesario para la conformación, por ejemplo un dentado evolvente, únicamente sobre un flanco o los dos flancos de un diente. En otra variante está previsto, sin embargo, también que sobre en cada caso un primer y un segundo flancos de un diente del dentado de la herramienta de mortajar por generación existan en cada caso medidas excedentes que difieren en cada caso entre sí. Esta puede ser, por ejemplo, un dentado evolvente diferente.

Además, se da a conocer un procedimiento para el diseño de una medida excedente para la obtención de una compactación superficial de un elemento de dentado de metal sinterizado durante el proceso de generación, determinándose la medida excedente de manera iterativa. En un primer paso se predetermina por ejemplo una geometría así como en especial un momento de giro y/o una distribución de la presión. En un paso siguiente se define, por ejemplo, el diseño de una herramienta de mortajar por generación. Además, se determina una preforma con una medida excedente definida localmente. Una elección puede tener lugar por ejemplo sobre la base de bibliotecas de datos. Una biblioteca de datos de este tipo contiene, por ejemplo, recorridos de densidad experimentales obtenidos sobre la base de diferentes parámetros. Además, puede tener lugar una simulación del proceso de compactación o de generación. Para ello se simula, por ejemplo, la cinemática del proceso de generación en conexión con una simulación de propiedades elásticas y plásticas de la preforma así como, en su caso, de la herramienta de mortajar por generación. Para la simulación de propiedades elásticas o plásticas de la preforma se recurre, por ejemplo, a modelos de la mecánica del continuo en relación con una solución discreta mediante, por ejemplo, métodos de elementos finitos o de volumen finito.

En una estructuración preferida está previsto que una geometría de una herramienta de mortajar por generación se determine, de manera iterativa, teniendo en cuenta la medida excedente. Por ejemplo, se puede determinar una medida excedente de un dentado evolvente de la herramienta de mortajar por generación. Correspondientemente se puede determinar una medida excedente para otro dentado evolvente.

En una estructuración especialmente preferida está previsto que en un primer paso se genere automáticamente por lo menos una medida excedente, variada localmente en una zona de un flanco de un diente, que se puede definir por lo menos puntualmente, de una preforma de un elemento de dentado sobre la base de por lo menos una especificación de construcción, en un segundo paso se genera automáticamente una geometría de una herramienta

de mortajar por generación, en un tercer paso se simule un proceso de generación y un recorrido local generado durante éste de una compactación por lo menos de una capa de borde del elemento de dentado y, en un cuarto paso, se compare una evaluación automática del recorrido generado de compactación con una especificación, así como se repita en su caso el procedimiento a partir del primer paso con la utilización de por lo menos una variación para la optimización, hasta se cumpla un criterio de interrupción. La variación tiene lugar al mismo tiempo, por ejemplo, con la ayuda de un procedimiento de optimización. Un criterio de interrupción es, por ejemplo, una tolerancia entre el recorrido de densidad deseado y el recorrido de densidad conseguido en la simulación. Además, el criterio de interrupción puede ser también una superación del número predeterminado de iteraciones.

Es especialmente adecuado que la especificación de construcción se elija del grupo formado por la densidad del material, la geometría, el momento de giro y la distribución de la presión. El momento de giro debe entenderse aquí como el momento de giro que aparece para el propósito de utilización según el uso de un elemento de dentado.

Es adecuado, en especial para evitar roturas de material, que la tensión de material sea simulada por lo menos en la zona de la compactación y que se utilice en especial para la evaluación. Preferentemente se evita con ello que una superficie, si bien esté suficientemente templada, sea sin embargo frágil a causa de tensiones y tienda a dar grietas por tensiones.

Además es ventajoso cuando para la variación se utilizan datos guardados en una biblioteca de un banco e datos. En especial se puede recurrir al mismo tiempo a procedimientos para la optimización y el análisis de datos por ejemplo mediante redes neuronales. Por lo demás las características almacenadas en el banco de datos se pueden utilizar, por ejemplo, para la optimización mediante un algoritmo genético.

En otra estructuración se puede sustituir por lo menos uno de los pasos por una especificación. Preferentemente se predetermina de manera fija la geometría de la herramienta de mortajar por generación. Con ello se considera por ejemplo el hecho de que una herramienta de mortajar por generación es mucho más complicada de modificar que, por ejemplo, una preforma. Otra estructuración prevé una forma de proceder la inversa. Preferentemente se calcula, partiendo de una forma final, una preforma o la herramienta de mortajar por generación para la fabricación de la forma final así como también la herramienta de compresión para la fabricación de la preforma.

Finalmente se da a conocer un producto de programa de ordenador con medios de codificación del programa, los cuales están almacenados en un medio legible por ordenador, para llevar a cabo por lo menos uno de los procedimientos descritos más arriba, cuando el programa es ejecutado en un ordenador. En medio legible por ordenador es, por ejemplo, un medio de almacenamiento magnéticos, magnetoóptico u óptico. Además, se utiliza un chip de memoria. Además, un medio legible por ordenador puede estar realizado también mediante una memoria remota, por ejemplo mediante una red de ordenadores.

El programa de ordenador puede estar almacenado, por ejemplo, en una máquina para la compactación superficial. El cálculo puede tener lugar también por separado de la máquina para la compactación superficial. La máquina dispone, sin embargo, de un control, en especial un control conducido mediante trayectoria y/o fuerza, en el cual se pueden introducir las coordenadas y los desarrollos de los movimientos para compactar la preforma.

Además, se prevé un molde de herramienta de compresión con el cual se puede prensar una preforma de material sinterizado, la cual es compactada superficialmente a continuación para dar una forma final. Este molde de herramienta de compresión está calculado de manera iterativa. Preferentemente se parte para ello asimismo de datos acerca de un contorno final de la pieza con su dentado.

También puede estar previsto un banco de pruebas de laminación, el cual ofrece la posibilidad, de poder llevar a cabo laminaciones de prueba para diferentes compactaciones superficiales. Con él se pueden obtener en especial también datos los cuales, una vez evaluados, pueden entrar en los procedimientos de cálculo. Por ejemplo se pueden formar para ello valores característicos adecuados a partir de un gran número de mediciones. Con ello se pueden obtener por ejemplos valores iniciales para el cálculo iterativo de la preforma, la herramienta o la herramienta de compresión. El banco de pruebas de laminación puede poseer también una medición automatizada de pieza compactadas superficialmente, las cuales presentan un dentado.

A continuación se proponen otras ideas, las cuales se pueden realizar combinadas con los aspectos propuestos hasta ahora.

De acuerdo con otra idea, la cual se puede utilizar vinculada, se prevé un procedimiento para la fabricación de un dentado a partir de material sinterizado compactado, siendo compactada una preforma de diente compactada previamente, por lo menos en una zona, mediante datos determinado de manera iterativa, por lo menos 0,05 mm en su superficie hasta su forma final, y se consigue una calidad de la forma final de por lo menos en el margen de por lo menos $f_{H\alpha} = 4$, $F_{\alpha} = 7$ y $f_{I\alpha} = 7$. Aquí significan $f_{H\alpha}$ la desviación con respecto al dentado, F_{α} la desviación total y $f_{I\alpha}$ la desviación de la forma del perfil de los flancos. Los datos indicados corresponden a las clases DIN con respecto a la desviación.

De acuerdo con un perfeccionamiento está previsto que una iteración tenga en cuenta parámetros que afectan al comportamiento de un material de trabajo durante una compactación superficial de la forma del diente. Una estructuración prevé que una iteración parta, para la determinación de una preforma, de datos introducidos, los cuales se toman de una especificación de la forma final. Preferentemente se utiliza por lo menos una herramienta de mortajar por generación, la cual presenta la misma calidad que la forma final generada más tarde. Mediante la determinación de manera iterativa y el con ello extremadamente preciso procesamiento durante la compactación superficial se hace posible que la calidad de la herramienta se puede trasladar a la preforma. La compactación superficial extremadamente precisa permite en especial que el dentado presente, tras la compactación superficial, sin otro paso posterior de retirada de material, esta calidad de la forma final. Por ejemplo se fabrica una pieza con el dentado con una densidad del núcleo de por lo menos $7,4 \text{ g/cm}^3$ con una densidad superficial la cual es máxima por lo menos en una zona de un flanco de diente, extendiéndose la densidad superficial máxima en profundidad en la zona de por lo menos $0,02 \text{ }\mu\text{m}$.

De acuerdo con otra idea, la cual se puede utilizar vinculada, se da a conocer un procedimiento para la fabricación de un dentado a partir de material sinterizado, siendo compactada una preforma de diente compactada previamente por lo menos en una zona, mediante datos obtenidos de manera iterativa, hasta su forma final, y se mejora una rugosidad en la zona con respecto a la preforma en por lo menos un 400 %, ajustándose una dureza superficial de por lo menos 130 HB. Preferentemente se ajusta una densidad de núcleo de la forma final la cual presenta por lo menos una densidad de $7,3 \text{ g/cm}^3$, y se estampa una dureza superficial la cual presenta un recorrido convexo desde la superficie hacia el centro de la forma final.

El dentado de material compactado previamente presenta, en una primera zona compactada superficialmente, una rugosidad la cual es aproximadamente un 400 % menor que una rugosidad en una segunda zona, la cual está menos compactada superficialmente o no lo está en absoluto. La rugosidad R_z es, por ejemplo, en la primera zona inferior a $1 \text{ }\mu\text{m}$. Otra estructuración prevé que exista una dureza superficial de por lo menos 700 HV [0,3] en la superficie de la forma final, mientras que a una profundidad de $0,4 \text{ mm}$ con respecto a la superficie exista por lo menos una dureza de 500 HV [0,3]. La otra estructuración presenta una dureza superficial de por lo menos 700 HV [0,3] en la superficie de un flanco de diente y en un pie de diente, existiendo una dureza de por lo menos 500 HV [0,3] a una profundidad de $0,6 \text{ mm}$ con respecto a la superficie en la base del diente y una dureza de por lo menos 500 HV [0,3] a una profundidad de $0,8 \text{ mm}$ con respecto a la superficie en el flanco del diente. Mediante la fabricación de la compactación superficial se hace posible poder ajustar de manera selectiva compactaciones precisas así como también templados en correspondencia con las especificaciones deseadas.

Según otra idea, la cual se puede utilizar vinculada, se propone un procedimiento de cálculo para el diseño de una preforma de un dentado hecho de material sinterizado, entrando datos en el procedimiento de cálculo los cuales se determinan a partir de una forma final predeterminada del dentado, se determinan dependiendo de por lo menos una condición de utilización de la forma final uno o varios parámetros de carga del dentado, se calcula una medida excedente local de la preforma, la cual está correlacionada con una compactación esperada de la preforma en la superficie, entrando la carga del material sinterizado por debajo de la superficie en el cálculo.

Preferentemente se basa el cálculo adicionalmente en una penetración de la herramienta en la pieza que hay que fabricar, pudiendo considerarse en especial el comportamiento del material sinterizado 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 que hay que compactar. El procedimiento de cálculo puede prever también que se tenga en cuenta una deformación elástica-plástica del material sinterizado compactado en la superficie. Preferentemente entra en el procedimiento de cálculo una profundidad de una carga máxima por debajo de la superficie, por ejemplo durante una utilización de la pieza como rueda dentada transmisora de fuerza. El procedimiento de cálculo puede que entre además una contracción del material sinterizado durante la sinterización en el cálculo. Pueden entrar también en el cálculo datos determinados de manera empírica.

De acuerdo con otra idea, la cual se puede utilizar vinculada, se propone un procedimiento de cálculo para el diseño de una herramienta para la compactación superficial de una preforma de un dentado hecho en especial de material sinterizado para la generación de una geometría predeterminada, entrando datos determinados de la geometría de diente predeterminada que hay que genera para el cálculo de cinemáticas de máquinas herramientas teniendo en cuenta ejes de máquinas asociados entre sí de una pieza, a partir de la cual se forma la herramienta que hay que fabricar, y por lo menos un conformador de herramienta cuyas coordenadas de sistema acopladas y cuyo movimiento entran de manera iterativa entre sí. Con ello existe ahora la posibilidad de, en lugar mediante ensayos repetidos, encontrar resultados de medición y adaptaciones del generador de pieza para obtener finalmente una forma final, llevar esto a cabo mediante un cálculo iterativo. Esto ahora mucho más tiempo y hace posible tener en cuenta diferentes parámetros de influencia. En especial se hace posible también una simulación del diseño, de manera que se comprueba por ejemplo una forma de actuar de la pieza que hay que fabricar sobre una preforma diseñada.

De acuerdo con una estructuración entran en el procedimiento de cálculo condiciones de contacto entre la pieza que hay que fabricar y el conformador de herramienta entre una punta y un pie del dentado. Preferentemente entra al mismo tiempo también en la zona del pie del dentado una tensión máxima en la superficie en el cálculo. Además,

existe la posibilidad de que en la zona de un flanco del dentado entre una tensión máxima por debajo de la superficie en el cálculo. Este procedimiento es adecuado en especial para materiales sinterizados aunque también para piezas de acero o piezas de otros materiales de trabajo.

5 De acuerdo con otra idea, la cual se puede utilizar vinculada, se propone una herramienta de molde de compresión con una geometría de prensa para la fabricación de una preforma de un dentado a partir de material sinterizado, presentando la geometría de prensa un recorrido adaptado a una compactación superficial del dentado con por lo menos una elevación, que genera por lo menos en la zona del dentado de la preforma una depresión, la cual se puede rellenar con material sinterizado durante la compactación superficial.

10 La elevación en un lado frontal de la preforma da lugar preferentemente a una depresión en la zona de una cabeza de un diente del dentado. Por ejemplo, mediante cálculo iterativo se puede determinar la altura de la elevación o la profundidad de la depresión así como otras medidas de ellos. Otra estructuración prevé, en lugar de una elevación unilateral, que esté prevista una elevación por ambos lados para dar lugar respectivamente a una depresión a ambos lados frontales del diente. La elevación está, de acuerdo con un perfeccionamiento, dispuesta en una zona de la geometría, que da lugar a una depresión sobre una cabeza de diente de la preforma, reduciendo por lo menos, mediante la compactación superficial la elevación, una dimensión de la depresión formada por lo menos parcialmente a causa del procesamiento de la preforma para dar la forma final. De esta manera se puede calcular, por ejemplo, una preforma con por lo menos una depresión en un lado frontal de un dentado para la compensación de una expulsión de material durante la compactación superficial de una superficie de rodadura del dentado y se puede en especial fabricar. De esta manera se puede también calcular y en especial fabricar una preforma con por lo menos una depresión sobre una cabeza de diente de un dentado para impedir por lo menos un crecimiento de la cabeza del diente a lo alto durante una compactación superficial, por lo menos de los flancos del dentado. El procedimiento de cálculo para la determinación de una geometría de una preforma o de una herramienta de molde de prensado prevé, preferentemente, que la geometría se determine partiendo de datos de una forma final de la preforma y que por lo menos se calcule una depresión o elevación, que de lugar por lo menos a una compensación de un desplazamiento de material durante una compactación superficial.

20 De acuerdo con otra idea, la cual se puede utilizar vinculada, se propone un procedimiento en el cual se lleva a cabo una pasada en sentido contrario de giro en un dentado hecho de material sinterizado, con el fin de compactar la preforma de la forma final de una compactación superficial. Preferentemente se lleva a cabo, antes del cambio de dirección, una breve descarga de la preforma mediante una herramienta de conformación. Se ha demostrado que mediante la reversión, lo que significa, mediante la inversión del movimiento, se puede conseguir una compactación comparable. Además, se consigue continuar minimizando problemas durante la fabricación gracias a que se reduce la presión de la herramienta sobre la pieza, antes de que tenga lugar el cambio de sentido del movimiento. Al mismo tiempo la herramienta puede permanecer en contacto con la pieza. Se puede sin embargo soltar también brevemente de la superficie.

30 De acuerdo con otra idea, la cual se puede utilizar vinculada, se propone la compactación superficial de una pieza con por lo menos un dentado hecho de material sinterizado, siendo compactada una primera superficie de la pieza con otro procedimiento que la segunda superficie de la pieza. Preferentemente presenta un primer dentado de la pieza una compactación diferente que el segundo dentado de la pieza. Un perfeccionamiento prevé que un dentado interior de la pieza experimente una compactación superficial diferente que un dentado exterior de la pieza. Existe también la posibilidad que un dentado exterior esté compactado mediante un procedimiento de generación, mientras que la segunda superficie es un taladro, el cual está compactado superficialmente mediante otro procedimiento. El taladro en la pieza adquiere, preferentemente, tras una compactación superficial, una superficie templada y se lleva a continuación a la forma final. Esto permite la utilización del taladro para un árbol o un eje. Una mejora de la precisión se puede conseguir gracias a que, tras un templado del dentado, tenga lugar una compactación superficial.

40 De acuerdo con otra idea, la cual se puede utilizar vinculada, se fabrica un árbol con por lo menos un primer y un segundo dentados, siendo el primer dentado generado a partir de material sinterizado y estando compactado superficialmente. A continuación se indican características referidas al árbol o respectivamente a los dentados. Al mismo tiempo se puede utilizar para otras estructuraciones, en especial también la otra exposición referida al dentado, a los materiales, a los pasos de fabricación, etc.

50 De acuerdo con una estructuración el árbol presenta un segundo dentado, el cual está fabricado según otro procedimiento diferente al primero. Esto hace posible una gran número de combinaciones que prevé para cada caso de sollicitación soluciones de material diferentes. El segundo dentado forma, de acuerdo con otra estructuración, una pieza con el primer dentado. Por ejemplo, ambos dentados pueden estar fabricados juntos en una máquina de compresión. El primer y el segundo dentado están calculados preferentemente de manera iterativa y han sido fabricados correspondientemente. De acuerdo con una estructuración la fabricación puede tener lugar uno tras otro, de acuerdo con otra estructuración puede tener lugar, sin embargo, también de manera simultánea. Esto es válido en especial también para otros pasos de procesamiento como, por ejemplo, una compactación superficial.

65 Un perfeccionamiento prevé que el segundo dentado presente una superficie templada sin compactación superficial. Para algunos casos de carga es suficiente con la densidad obtenida mediante sinterización o con la resistencia

inherente al material utilizado. Esto es válido por ejemplo para utilizaciones para bombas.

Además, se ha demostrado de manera ventajosa que el primer dentado presente por lo menos en un diente en cada caso diferentes pendientes de los flancos a la misma altura del diente. Esto es ventajoso en utilizaciones en las cuales está predeterminada una dirección de giro principal y en especial únicamente una dirección de giro. Las diferentes pendientes de flanco se puede diseñar gracias a ello de manera que minimicen el desgaste y el ruido.

Otra estructuración prevé que el segundo dentado esté forjado. Este dentado puede absorber, por ejemplo, una mayor transmisión de fuerza que el primer dentado.

Preferentemente el segundo dentado está hecho de otro material que el primer dentado. Por ejemplo, el segundo dentado está hecho de acero. El segundo dentado puede estar hecho, sin embargo, también de otro material sinterizado que el primer dentado. De manera adicional, el árbol puede estar hecho también de material sinterizado. Puede presentar, por ejemplo, el mismo material que el primer dentado. El árbol puede estar formado por lo menos también junto con el primer dentado, es decir puede ser comprimido a partir del material de polvo, preferentemente en un molde de compresión.

Un procedimiento a título de ejemplo para la fabricación del árbol descrito más arriba puede prever también que por lo menos el primer dentado experimente una compactación superficial y que un taladro para el alojamiento del árbol, sea compactado superficialmente, templado y bruñido a continuación, antes de que el árbol y el primer dentado sean conectados entre sí. Para ello se lleva a cabo, preferentemente partiendo de una forma final del árbol con el primer dentado, un cálculo iterativo de una preforma del primer dentado.

En la técnica de vehículos automóviles se dan utilizaciones preferidas para un árbol de este tipo así como en la construcción de engranajes y en los aparatos domésticos.

De acuerdo con otra idea, la cual se puede utilizar vinculada, se utiliza una preforma para la fabricación de un dentado hecho de material sinterizado, presentando la preforma una medida excedente negativa. Preferentemente, la medida excedente negativa está dispuesta sobre un flanco de un diente del dentado. En especial, la medida excedente negativa puede discurrir asimétricamente a lo largo del flanco.

Un perfeccionamiento prevé que sobre cada flanco de un diente esté prevista un a medida excedente negativa. Por ejemplo, un diente presenta a la misma altura una medida excedente negativa sobre un primer flanco y una segunda medida excedente negativa sobre un segundo flanco, discurriendo el primer y segundo flancos de manera asimétrica uno con respecto al otro.

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

Además del dentado exterior o de otro tipo de dentado se lleva a cabo una compactación superficial también para un dentado que sea un dentado interior. La preforma se convierte finalmente en una rueda dentado compactada superficialmente.

Un perfeccionamiento prevé un procedimiento para la fabricación de un dentado hecho de material sinterizado asignándosele a una preforma por lo menos una medida excedente negativa, determinada mediante un cálculo iterativo, que es llenado durante por lo menos de manera parcial mediante desplazamiento de material sinterizado durante una compactación superficial del dentado. Preferentemente se desplaza a la medida excedente negativa un material excedente contiguo a la medida excedente negativa. La preforma puede ser compactada superficialmente en la forma final buscada, teniendo lugar opcionalmente un templado y/o una mecanizado fino de la superficie. Esto puede tener lugar antes o después de la compactación superficial. Como mecanizado fino se consideran un bruñido o también un amolado.

La estructuración de la medida excedente negativa tiene lugar preferentemente mediante un cálculo iterativo, durante el cual una simulación de la compactación superficial en la preforma determina si la medida excedente contigua de su forma está dimensionada de tal manera que la medida excedente negativa pueda ser alisada para dar el contorno final buscado. Para ello se proporciona una máquina para el cálculo y/o la realización de una compactación superficial de un dentado, pudiendo introducirse una cinemática calculada, mediante la cual se puede alisar, mediante la compactación superficial, una medida excedente negativa sobre un flanco del dentado para dar el contorno final buscado.

De acuerdo con otra idea, la cual se puede utilizar vinculada con las características de la exposición, se propone un procedimiento para la realización de una compactación superficial en un dentado, adquiriendo en primer lugar dos preformas de manera simultánea una compactación superficial en un dispositivo.

De acuerdo con una estructuración las preformas son dispuestas sobre árboles dispuestos de forma paralela y engranan simultáneamente con por lo menos una herramienta para la compactación superficial.

5 De acuerdo con una segunda estructuración se disponen por lo menos dos preformas sobre un árbol común y se hacen engranar conjuntamente con por lo menos una herramienta para la compactación superficial.

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

10 Por ejemplo, está previsto que esté previsto por lo menos un movimiento de un árbol, durante el cual las dos preformas engranan con la herramienta para la compactación superficial. Un perfeccionamiento prevé que estén dispuestos paralelos unos con respecto a los otros por lo menos tres árboles para por lo menos dos preformas y por lo menos una herramienta y que formen un triángulo, pudiendo moverse por lo menos uno de los árboles hacia los otros dos árboles. Otra estructuración prevé que por lo menos dos preformas se pueden disponer sobre un árbol común, presentando la herramienta una longitud mayor que una longitud sumada de por lo menos las dos preformas. Las preformas pueden estar en contacto entre sí con sus superficies frontales. Otra estructuración prevé que entre las preformas esté dispuesta una distancia, sobresaliendo la herramienta a lo largo del árbol más allá de las dos superficies frontales exteriores de las preformas.

20 De acuerdo con otra idea, la cual se puede utilizar vinculada con las otras características de la exposición, se propone un componente con un dentado compactado superficialmente hecho de material sinterizado, presentando el componente, visto a través de una sección transversal, un gradiente con respecto a los materiales sinterizados utilizados.

25 El componente presenta preferentemente un gradiente el cual presenta una función escalonada. Los materiales sinterizados están previstos por lo menos en esta zona en el límite de transición. De acuerdo con una estructuración este límite de transición existe a lo largo de la totalidad de la superficie entre el primer y el segundo material sinterizado. Otra estructuración prevé que en una zona no haya ningún límite fijo sino una transición gradual. En especial puede estar previsto que el componente presente diferentes materiales sinterizados, los cuales se extienden unos en otros, sin presentar una zona de mezcla con gradientes que aumenten o disminuyan.

35 Un primer perfeccionamiento del componente contiene que el material sinterizado del dentado presenta una densidad de núcleo menor que el material sinterizado de una zona del componente que se conecta con el dentado. Un segundo perfeccionamiento del componente prevé que el material sinterizado del dentado presenta una densidad del núcleo mayor que el material sinterizado de una zona del componente que se conecta con el dentado.

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

40 El dentado presenta, preferentemente, ángulos de flanco diferentes a la misma altura en un diente.

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

50 Además, se propone un procedimiento para la fabricación de un dentado compactado superficialmente en un componente, siendo introducido un primer material sinterizado en un molde, antes de que se añada un segundo material sinterizado, teniendo lugar a continuación una compresión y sinterización y se densifique, mediante una compactación superficial del dentado, únicamente uno de los dos materiales sinterizados, mientras que el otro material sinterizado no experimenta ningún tipo de variación.

55 Un perfeccionamiento prevé que se lleve a cabo una segunda compactación superficial, que afecta únicamente al material sinterizado que aún no ha sido compactado superficialmente. Está previsto preferentemente que el primer material sinterizado forme por lo menos una superficie de los flancos de dentado y que el segundo material forme un relleno inferior.

60 Un procedimiento propuesto para la fabricación de un dentado compactado superficialmente en un componente prevé introducir un primer material sinterizado en un molde, antes de que se añada un segundo material sinterizado, realizar a continuación una compresión y sinterización y compactar, mediante una compactación superficial del dentado, el primer y segundo materiales de sinterización.

65 Para la realización de los procedimientos se ha demostrado como ventajoso que se determine de manera iterativa un desarrollo del movimiento para la compactación superficial teniendo en cuenta un comportamiento del material de por lo menos uno de los dos materiales sinterizados.

Un perfeccionamiento para ambos procedimientos prevé que entre el molde, en especial un molde compresión, y un

material sinterizado que hay que introducir, actúe un movimiento relativo, de manera que el material sinterizado se acumule, dependiendo de una velocidad del movimiento relativo, en las dos zonas exteriores del molde.

5 Por lo demás puede estar previsto también que el primer y, por lo menos, el segundo material sinterizado sean introducidos, por lo menos durante un intervalo de tiempo, de forma solapada en el molde.

Se remite además a la patente US nº 5.903.815. De éste, se desprenden diferentes materiales sinterizados, condiciones para materiales sinterizados, moldes, fundamentos con respecto al procesamiento de dos o más materiales sinterizados, utilidades y paso del procedimiento.

10 De acuerdo con otra idea se propone en especial en una rueda dentada, una rueda de cadena o una corona dentada forjada que en el procedimiento de fabricación se prevea, junto al paso de compactación superficial del dentado, también un amolado o bruñido de los flancos de dientes compactados o de los pies de dientes. Preferentemente se consigue mediante el forjado una densidad de por lo menos $7,6 \text{ g/cm}^3$ como densidad del núcleo. La compactación superficial puede dar lugar por ello a una compactación completa y/o también a una precisión de la forma del dentado. Un perfeccionamiento prevé que para un paso de procesamiento con retirada de material tras la compactación superficial haya una medida excedente para este paso en una zona de $4 \mu\text{m}$ a $8 \mu\text{m}$ de material por encima de la medida final. Si en lugar de un forjado se lleva a cabo una compresión, una sinterización y un templado, en especial un templado por cementación, se proporcionan para un bruñido preferentemente de $30 \mu\text{m}$ hasta $50 \mu\text{m}$ y para un amolado de $50 \mu\text{m}$ hasta $0,3 \text{ mm}$, preferentemente de $0,1 \text{ mm}$ hasta $0,2 \text{ mm}$ de medida excedente tras la compactación superficial. Mediante el cálculo de manera iterativa se hace posible determinar por anticipado las zonas y las medidas excedentes y poderlas introducir más tarde también en el procedimiento. Para un taladro en la rueda dentada, la rueda de cadenas o la corona dentada se prevé preferentemente también asimismo una compactación superficial, seguida de un templado y, a continuación, preferentemente un bruñido. El taladro puede disponer para ello asimismo, tras la compactación superficial, todavía de una medida excedente comprendida entre $30 \mu\text{m}$ y $50 \mu\text{m}$.

30 Otra ventaja ha resultado cuando tiene lugar una lubricación durante la compactación superficial. Además de la utilización de emulsiones, se puede lubricar también en especial con aceites. Esto se prefiere en caso de una laminación en caliente, por ejemplo a temperaturas superiores a $220 \text{ }^\circ\text{C}$. Además se propone llevar a cabo la laminación en caliente a una temperatura comprendida entre $500 \text{ }^\circ\text{C}$ y $600 \text{ }^\circ\text{C}$, utilizándose una refrigeración por aceite para, por un lado, lubricar y, por el otro, refrigerar también la herramienta.

35 La invención se explica a continuación a título de ejemplo en detalle sobre la base del dibujo. Estas estructuraciones representadas no deben interpretarse sin embargo de forma limitante para la extensión y con respecto a los detalles de la invención. Más bien las características que se deducen de las figuras no están limitadas a las estructuraciones individuales en cada caso. Más bien estas características se pueden combinar en cada caso con otras características, indicadas en el dibujo y/o en la descripción incluida la descripción de las figuras, de perfeccionamientos no representados en cada caso con mayor detalle, en los que:

40 la Fig. 1 muestra una disposición de laminación,

la Fig. 2 muestra un primer diente,

45 la Fig. 3 muestra un segundo diente,

la Fig. 4 muestra un tercer diente,

50 las Figs. 5 a 7 muestran diferentes cursos de medida excedente de diferentes elementos de dentado,

la Fig. 8 muestra un primer esquema del procedimiento,

la Fig. 9 muestra un segundo esquema de procedimiento,

55 la Fig. 10 muestra un curso de medida excedente de un elemento de dentado de una herramienta de mortajar por generación,

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

60 la Fig. 12 muestra una vista esquemática de casos extremos de herramientas calculados,

la Fig. 13 muestra una vista esquemática de una manera de proceder durante el cálculo de manera iterativa y la conexión durante una simulación,

65 la Fig. 14 muestra una vista de cursos de densidad dependiendo de diferentes densidades de partida de las preformas utilizadas,

la Fig. 15 muestra una vista general acerca de los errores determinados, que aparecen para diferentes pasos de compactación superficial y que caracterizan conjuntamente el comportamiento del material,

5 la Fig. 16 muestra un curso de la dureza en HV sobre un flanco de un dentado para diferentes pasos de compactación superficial,

la Fig. 17 muestra un curso de la dureza en HV sobre una zona de pie de un dentado para diferentes pasos de compactación superficial,

10 la Fig. 18 muestra una vista esquemática de diferentes curso de medida excedente calculados para diferentes densidades,

15 la Fig. 19 muestra una representación esquemática de parámetros que se pueden incluir en el cálculo de manera iterativa.

La Fig. 1 muestra, a título de ejemplo, una disposición de laminación en vista esquemática. Una primera herramienta de mortajar por generación 101 con un primer dentado 102 está apoyada con posibilidad de giro alrededor de un primer eje 103 en una dirección de rotación 104. El primer dentado 102 está engranado con un segundo dentado 105 de una preforma 106. La preforma 106 está apoyada con posibilidad de giro alrededor del un segundo eje 107. Correspondientemente resulta una segunda dirección de rotación 108. Además, el segundo dentado 105 está engranado con un tercer dentado 109 de una segunda herramienta de mortajar por generación 110. Esta segunda herramienta de mortajar por generación 110 está apoyada con posibilidad de giro alrededor de un tercer eje 111 en una tercera dirección de giro 112. Por ejemplo, el primer eje 103 o el segundo eje 107 pueden ser ejes fijos, mientras que los otros dos ejes pueden llevara acabo el movimiento de aproximación. Por ejemplo el tercer eje 111 se puede desplazar, en una dirección de desplazamiento 113, a lo largo de una línea de conexión 114 desde el primer 103, desde el segundo 107 o desde el tercer eje 111. Por ejemplo, se puede llevar a cabo un proceso de laminación de calibrado. En éste se compactan en especial flancos de dientes únicamente de forma ligera y en especial no se compactan las bases de los dientes. Con ello se produce una compactación superficial en la zona deseada. N una compactación superficial se puede por otro lado compactar superficialmente también únicamente o también adicionalmente el base del diente. Por ejemplo, tiene para ello, durante un proceso de laminado, desplazamiento que avanza en la dirección de la dirección de desplazamiento 113. En especial se compacta, mediante una primera y segunda herramientas de mortajar por generación 101, 110 también una zona de las bases de los dientes de la preforma 106. Para el desplazamiento de la primera y/o de la segunda herramienta de mortajar por generación 110 así como para la acuñación de una presión necesaria para el proceso de laminado está previsto un dispositivo de ajuste, no representado, con un engranaje. Con él se pueden aplicar en especial también presiones muy elevadas.

La Fig. 2 muestra un primer diente 201 de un elemento de dentado correspondiente no representado. En el caso de este elemento de dentado se trata de una rueda dentada. Una geometría del elemento de dentado o del primer diente 201 está caracterizada al mismo tiempo por una primera circunferencia de fondo 202, y una primera circunferencia útil de fondo 203, en un primer círculo de paso 204 y en una primera circunferencia exterior 205. En un primer flanco 206 el primer diente 201 presenta, antes de un primer proceso de laminado, un primer recorrido de la dimensión exterior 207. Tras un proceso de laminación concluido resulta un primer recorrido de dimensión final 208, resultando correspondientemente una primera capa del borde 209 compactada. Representado de manera esquemática, ésta está limitada por una primera frontera de compactación 210. Esta línea delimita la zona del primer diente 201, dentro de la cual se alcanza la densidad completa. La densidad completa está referida al mismo tiempo a una densidad de un diente forjado mediante polvo comprable.

La Fig. 3 muestra un segundo diente 301 de un elemento de dentado no representado. En el caso de este elemento de dentado se trata asimismo de una rueda dentada. El segundo diente 301 y la rueda dentada están caracterizados por segunda circunferencia exterior 302, un segundo círculo de paso 303, una segunda circunferencia útil de fondo 304 y una segunda circunferencia de fondo 305. Para la consecución de un recorrido de compactación idéntico en un segundo flanco 306 y en un tercer flanco 307 están previstos un segundo recorrido de la medida excedente 308 y un tercer recorrido de la medida excedente 309. Tras un proceso de laminado resulta, sobre el segundo flanco 306, un segundo de la medida excedente 310 y, sobre el tercer flanco 307, un tercer recorrido de la medida excedente 311. Además, resulta una segunda frontera de compactación 312 y una tercera frontera de compactación 313. A causa de las fuerzas distintas, debidas al movimiento combinado de rodadura y de deslizamiento en una dirección de rotación, en el segundo flanco 306 y en el tercer flanco 307, el segundo recorrido de la medida excedente 308 y el tercer recorrido de la medida excedente 309 están estructurados de distinta manera. La diferente actuación de fuerzas sobre los flancos de diente 306, 307 durante un proceso de laminado se indica mediante las direcciones de la velocidad de deslizamiento representadas. En el segundo flanco 306 resultan una primera dirección de velocidad de deslizamiento 314 y una segunda 315. Estas están orientadas, partiendo del segundo círculo de paso 303, en la dirección de la segunda circunferencia exterior 302 o en la dirección de la segunda circunferencia de fondo 305. En el tercer flanco 307 resulta, por el contrario, una tercera dirección de velocidad de deslizamiento 316 y una cuarta dirección de velocidad de deslizamiento 317, las cuales están orientadas una contra otra.

- La Fig. 4 muestra un tercer diente 401, de un elemento de dentado no representado. En el caso de este elemento de dentado se trata asimismo de una rueda dentada. La rueda dentada y el tercer diente 401 están caracterizados de nuevo mediante una tercera circunferencia exterior 402, una circunferencia útil exterior 403, un tercer círculo de paso 404, y una tercera circunferencia útil de fondo 405 así como por una tercera circunferencia de fondo 406. En el caso del tercer diente 401 mostrado se trata de un dentado con un destalonamiento de cabeza, preferentemente en forma de un redondeamiento de cabeza. En esta zona son posibles sin embargo también otras geometrías. Al mismo tiempo se ha reducido un perfil de diente en una zona de cabeza de diente 401.1, entre una tercera circunferencia exterior 402 y la circunferencia útil exterior 403. Esto conduce a que en esta zona el diente no engrane con un contradentado de tipo evolvente. En este caso hay una zona de diente activa únicamente en la zona situada entre la circunferencia útil exterior 403 y la circunferencia útil de fondo 405 o entre la circunferencia útil exterior 403 y la tercera circunferencia de fondo 406. Un cuarto recorrido de la medida excedente 407 resulta, después de un proceso de laminado, en una cuarta frontera de compactación 408. Además, se consigue sobre un cuatro flanco 409 y cuatro recorrido de dimensión final 410.
- La Fig. 5 muestra un recorrido de la medida excedente entre dos dientes de un elemento de dentado no representado. En el caso de este elemento de dentado se trata de nuevo de una rueda dentada. La rueda dentada y los dientes están caracterizados por una cuarta circunferencia de fondo 502, una cuarta circunferencia útil de fondo 503 de la preforma, una quinta circunferencia útil de fondo 504 de la preforma después de un proceso de rectificación, y una cuarta circunferencia exterior 505 tras un proceso de fresado y una quinta circunferencia exterior 506 tras un proceso de Finishing. Después de un proceso de laminado resulta un quinto recorrido de la medida excedente 507. Sobre el eje de abscisas se ha indicado una dimensión lateral en milímetros. Sobre el eje de ordenadas está indicada, asimismo en milímetros, la dimensión lateral correspondiente orientada perpendicularmente. El dentado discurre al mismo tiempo por completo en el plano del dibujo.
- La Fig. 6 muestra una recopilación de otros recorridos de la medida excedente. Sobre el eje de abscisas está representada la longitud de suelo mencionada a lo largo de una línea de flanco de un elemento de dentado. Esta línea de arco se refiere al mismo tiempo en cada caso a un recorrido desde la cabeza de diente de un primer diente hacia la cabeza de diente de un diente contiguo. Sobre el eje de abscisas superior está representado correspondientemente la longitud de suelo absoluta de la línea de flanco correspondiente, en milímetros. El eje de ordenadas izquierdo indica la medida excedente en milímetros. El eje de ordenadas derecho describe el radio correspondiente del dentado correspondiente. Están representados un sexto recorrido de la medida excedente 601, un séptimo recorrido de la medida excedente 602 y un octavo recorrido de la medida excedente 603. Además, está representado un radio perteneciente 604 del dentado correspondiente. El sexto recorrido de la medida excedente 601 y el octavo recorrido de la medida excedente 603 están realizados aquí de maneja simétrica con respecto a una línea de simetría de la base del diente 605. El séptimo recorrido de la medida excedente 602 está estructurado, por el contrario, de manera asimétrica. En las proximidades de la línea de simetría de la base del diente 605, es decir en la zona de la base del diente, las medidas excedentes presentan en cada caso un mínimo local. Con ello se favorece una reducción de un riesgo de grietas por tensiones.
- La Fig. 7 muestra otro recorrido de la medida excedente. Se muestra un noveno recorrido de la medida excedente el cual discurre de forma asimétrica desde una cabeza de diente 702 izquierda hacia una cabeza de diente 703 derecha. Como se muestra ya en la Fig. 6, es aquí también una medida excedente en la zona de una base de diente 704 más pequeña que en la zona del quinto 705 o del sexto flanco 706. Esto sirve, en especial, para evitar grietas por tensiones.
- La Fig. 8 muestra un primer esquema del procedimiento. Partiendo de una indicación previa del objetivo 801, el cual comprende la geometría, un momento de giro de una rueda dentada que hay que transmitir y una distribución de la presión, se genera, con un primer módulo de generación de geometría 802, una geometría de una herramienta de mortajar por generación. Además se genera, tanto sobre la base de la indicación previa del objetivo 801 así como también sobre la base de la geometría de la herramienta de mortajar por generación, una geometría de una preforma en un segundo módulo de generación de geometría 803. En un primer módulo de simulación 804 se simula un proceso de rodadura. Al mismo tiempo se simula tanto una cinemática del proceso de rodadura como también el proceso de compactación, el cual se provoca durante el proceso de rodadura. Al mismo tiempo se tiene en cuenta, en especial, la redistribución de material, como está bosquejada por ejemplo en la Fig. 3. La simulación de una deformación plástica tiene lugar aquí por ejemplo mediante un método de elementos finitos. Éste se puede acoplar con un programa de CAD. De manera opcional se puede tener en cuenta un segundo módulo de simulación 805 para la simulación de una deformación. En este módulo entran tanto, por un lado, la indicación previa del objetivo 801 como también la geometría de la preforma. Por otro lado el segundo módulo de simulación 805 hace posible una corrección de la geometría determinada de la preforma. En especial se pueden llevar a cabo de forma repetida, en un bucle de optimización, el primer módulo de generación de geometría 802, el segundo módulo de generación de geometría 803, el primer módulo de simulación 804 y, en su caso, el segundo módulo de simulación 805.
- La Fig. 9 muestra un segundo esquema del procedimiento. En un primer paso 901 se genera un noveno recorrido de la medida excedente 902 de un perfil de diente 903. A continuación se genera, en un segundo paso 904, un segundo perfil de diente 905 de una tercera herramienta de mortajar por generación 906. A continuación se simula un tercer paso 907 del proceso de laminado. Al mismo tiempo se simula el proceso de generación del primer perfil de diente

903 sobre el segundo perfil de diente de la herramienta de mortajar por generación 905 y la compactación resultante de ello. A continuación se repiten, en su caso, el primer, segundo y tercer pasos 901, 904, 907 en una variación 908.

5 La Fig. 10 muestra un recorrido de la medida excedente de un elemento de dentado de una herramienta de mortajar por generación. Está representado un décimo recorrido de la medida excedente 1001 de un quinto diente 1002 de una herramienta de mortajar por generación no representada. En un séptimo flanco 1003 y un octavo flanco 1004 del quinto diente 1002 está prevista una medida excedente diferente. En el séptimo flanco 1003 está previsto un suministro de material, que está indicado mediante una primera flecha 1005. Por el contrario, sobre el octavo flanco 1004 está prevista una retirada de diente, la cual está indicada mediante una segunda flecha 1006. La medida excedente está referida, en este ejemplo, a un perfil regular de un dentado de tipo evolvente. Mediante las
10 estructuraciones asimétricas de los dos flancos de diente 1003, 1004, se tienen en consideración en especial una carga asimétrica del material y un elemento de dentado que hay que compactar con ella. Con respecto a la forma final de la pieza se puede conseguir también un perfil simétrico de ambos flancos de un diente mediante esta herramienta de mortajar por generación, para lo cual se llevan a cabo compensaciones en el rango de
15 preferentemente menor a 0,1 μm .

La Fig. 11 muestra una vista esquemática de una depresión calculada en el lado frontal de un dentado. La depresión sirve para por lo menos minimizar, sino incluso compensar, un crecimiento del desplazamiento, conseguido mediante compactación superficial, de material sinterizado y del crecimiento del diente que se produce con ello en cuanto a la altura y/o la anchura. La forma de la depresión depende de la medida excedente y de las dimensiones del diente. La forma puede ser optimizada, de manera iterativa, a lo largo del procedimiento del cálculo. Una simulación hace posible una estimación de comportamiento real posterior de la preforma.

La Fig. 12 muestra una vista esquemática de casos extremos calculados de herramientas para la compactación superficial, que se pueden calcular. El punto de partida del cálculo es la geometría final izquierda del dentado. Teniendo en cuenta las condiciones de rodadura, los parámetros exterior y otros factores que influyen, se pueden determinar de forma iterativa las formas de herramientas representadas en cada caso en el centro y a la derecha.

La Fig. 13 es una vista esquemática de un procedimiento durante el cálculo iterativo y las conexiones durante una simulación. Partiendo de los datos finales predeterminados de la pieza y de su dentado se pueden modelizar las cinemáticas de máquina. Aquí se parte, por ejemplo, de los ejes de las máquinas asignados entre sí. A través de las cinemáticas y las conexiones funcionales se puede llevar a cabo por consiguiente, mediante los grados de libertad existentes, una optimización de la herramienta que hay que diseñar. Para ello se remite de nuevo a la Fig. 12. Los ejemplos allí representados presenta las desventajas correspondientes, por ejemplo una región del pie excesivamente débil en la representación central o una estructuración de la cabeza excesivamente puntiaguda en la representación derecha. A través de parámetros de influencia adicionales tales como, por ejemplo, consideraciones relativas a la resistencia y/o recorridos de la tensión en el material, se puede llevar a cabo por consiguiente una iteración para un contorno de la herramienta adecuado para el perfil de exigencias correspondiente. Para la herramienta para la fabricación de la preforma se toma como punto de partida, por ejemplo, la geometría final determinada con las medidas excedentes calculadas.

La Fig. 14 muestra una vista de recorridos de densidad dependiendo de diferentes densidades de partida de las preformas utilizadas. Si se varía hacia fuera la densidad de la preforma, tanto en su núcleo como también en el recorrido, resultan influencias en lo que se refiere al recorrido de la compactación superficial. Esto se desprende de la representación derecha de la Fig. 14. Mediante las variaciones de la preforma correspondiente se puede influir también fuertemente sobre el recorrido de la densidad tras una compactación superficial. Por ello la densidad de partida del núcleo como también la forma de la preforma constituyen parámetros importantes durante la iteración y el cálculo.

La Fig. 15 ofrece una visión general a título de ejemplo acerca de los errores detectados, los cuales aparecen en diferentes pasos de compactación superficial y que caracterizan conjuntamente el comportamiento del material. El error se indica en clases de error según DIN 3962 ó DIN 3960. Un punto importante en la determinación de una compactación superficial adecuada mediante generación es la variación el perfil de la herramienta rodante. Mediante la utilización del procedimiento de cálculo mencionado más arriba para la preforma y la herramienta de mortajar por generación es posible modificar la herramienta de mortajar por generación, sobre la base de los resultados determinados. Esto se representa en la Fig. 15 en una preforma con una densidad de núcleo de 7,3 g/cm³, que estuvo engranada con un juego no modificado de herramientas de mortajar por generación y que fue compactada superficialmente. La geometría de la rueda dentada varía dependiendo del movimiento de avance de la herramienta de mortajar por generación. El objetivo es conseguir el contorno final buscado, tal como se ha predeterminado. De las imágenes de la Fig. 15 se pueden deducir diferentes estados de movimientos de avance de diferente extensión. A título de ejemplo están representados a la izquierda de errores de ángulo de perfil, en el centro el error de forma de perfil completo y a la derecha el error de forma. Estos se midieron en la rueda dentada fabricada en cada caso. De este modo conduce, por ejemplo, una reducción del grosor del diente de 0,27 mm a una desviación del ángulo de perfil correspondiente a la clase 7 según DIN. Para conseguir una forma final necesaria de la reducción del grosor de diente es necesario, sin embargo, un avance de 0,4 mm. Esto conduce, sin embargo, a un aumento de los errores correspondientes. Esto significa que el contorno final acabado pasa a situarse en los otros valores fuera de las

clases de calidad necesarias. Por ello resulta necesaria una variación de la geometría de la herramienta. Teniendo en cuenta los valores encontrados como valores de entrada se puede determinar, por consiguiente, una nueva herramienta, se pueden llevar a cabo de nuevo las pruebas y de este modo se puede determinar de manera iterativa una geometría optimizada para la herramienta. Mediante el cálculo se hace posible poder determinar, con por ejemplo dos o también únicamente con una iteración, un contorno definitivo para la herramienta.

La Fig. 16 muestra un recorrido de la dureza en HV sobre un flanco de un dentado indicado a lo largo de la distancia desde la superficie sobre el eje x en [mm]. En diferentes pasos de compactación superficial se puede influir, mediante elección adecuada de las medidas excedentes así como también del movimiento de avance, el recorrido del perfil de la dureza. Por ejemplo el recorrido puede ser, por lo menos parcialmente, convexo o también cóncavo. Como se ha indicado, la preforma designada mediante AVA7-1 tenía una medida excedente mayor que la preforma designada mediante AVA4-2. Las dos presentan un recorrido opuesto de la dureza: mientras que en la primera parte, hasta que se alcanzan 550HV, AVA7-1 presenta una forma más bien convexa, AVA4-2 tiene un recorrido más bien cóncavo. Después de pasar por debajo de 550HV esto varía.

La Fig. 17 muestra un recorrido de la dureza en HV en una zona de pie de un dentado durante diferentes pasos de compactación superficial. A causa de la pequeña dimensión allí, en comparación con la medida excedente del flanco, así como a causa de la geometría resulta un recorrido de la dureza diferente. La dureza disminuye inicialmente de forma más abrupta, si bien pasa entonces aproximadamente a un recorrido casi recto con una inclinación que es ya únicamente pequeña.

La Fig. 18 muestra una vista esquemática de diferentes recorridos de medidas excedentes calculadas, para diferentes densidades, sobre la base de un grosor de diente final. El diámetro se ha indicado sobre el eje y. Sobre el eje x se indica la medida excedente. D_a correspondientemente d_a indican el diámetro de la circunferencia útil exterior o del diámetro de la circunferencia exterior, 0 es una especificación de una medida excedente, por ejemplo mediante un valor en el círculo de referencia, d_b es el diámetro del círculo de base. A indica la zona de los valores preferidos para la zona del círculo de paso. B reproduce una zona crítica dado que allí puede aparecer fallo del material de trabajo durante la laminación.

La Fig. 19 muestra una representación esquemática de parámetros que pueden entrar en el cálculo iterativo. En especial pueden ser lugares de sollicitación máxima. Como está representado en la foto izquierda, pueden aparecer sobre el flanco daños de formación de hoyuelos. Por ello se usa un recorrido de tensión de comparación en el cual se cumple que: una tensión máxima aparece por debajo de la superficie, en especial en la zona de un resbalamiento negativo, por ello preferentemente por debajo de diámetro de círculo de paso d_{w1} indicado. La foto derecha indica una rotura de diente a causa de la carga de flexión aumentada. De ello se sigue para el modelo de cálculo que se determina en tiene en cuenta un lugar de sollicitación de pie de diente máxima. Este se puede determinar por ejemplo mediante la tangente de 30° según DIN o mediante la parábola de Lewis según AGMA. Para la tensión de comparación se supone preferentemente que aparece una tensión máxima en la superficie.

La Fig. 20 muestra, en vista esquemática, otra posibilidad de cómo pueden ser compactadas por ejemplo por lo menos dos preformas de manera simultánea. Además del movimiento de la herramienta puede tener lugar, según una estructuración, también un movimiento de las preformas en la dirección de la herramienta. Existe además la posibilidad de que se dispongan, sobre un eje de preformas, dos o más preformas.

La invención se puede utilizar, por ejemplo, en ruedas dentadas de árboles de levas, en ruedas dentadas planetarias, en ruedas dentadas satélites, en ruedas dentadas de accionamiento, en ruedas dentadas de compensación, en ruedas dentadas de engranaje, en ruedas dentadas de acoplamiento, en ruedas dentadas de bombas, en ruedas dentadas de dientes rectos, en ruedas dentadas de dientes oblicuos, en motores eléctricos, en máquinas de combustión interna, en engranajes de ajuste, en dentados exteriores e interiores, en engranajes de rueda frontal exterior o interior con dientes rectos u oblicuos, en engranajes de tornillo sin fin o engranajes helicoidales así como también en conexiones de árbol de rosca empinada y de cubo empinado. Otra estructuración prevé que una rueda dentada sea de metal sinterizado. La otra puede ser, por ejemplo, de plástico o de otro material. Existe además la posibilidad de que por lo menos una de las dos ruedas dentadas presente un revestimiento el cual actúa, en especial, minimizando el ruido. Preferentemente se puede fabricar también un par de ruedas hipoides para formar con ello un engranaje hipóide. Las piezas con dentado se pueden utilizar en especial en la técnica de vehículos automóviles, en la técnica de los motores, en la técnica de engranajes, en dispositivos de ajuste, en dispositivos en unión positiva, en juguetes, en dispositivos de mecánica de precisión, en aparatos domésticos, en especial en aparatos domésticos móviles, y en otros.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para la compactación superficial de un dentado para dar una forma final predeterminada, en el que se calcula de manera iterativa un número de repeticiones de un movimiento de compactación de una herramienta de conformación para la compactación superficial de una superficie en la preforma, siendo calculado de manera iterativa un número de pasadas hasta obtener una densidad superficial predeterminada y un avance de la herramienta de conformación, teniéndose en cuenta un componente elástico de un material sinterizado utilizado del dentado, penetrando la herramienta un poco más profundamente en la pieza tras haber obtenido un contorno final propiamente dicho.
- 10 2. Procedimiento para la compactación superficial de un dentado según la reivindicación 1, caracterizado porque una pasada de la preforma tiene lugar menos de 20 veces para obtener la geometría predeterminada de una forma final de la compactación superficial.
- 15 3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado porque la pasada tiene lugar menos de 10 veces.
4. Procedimiento según la reivindicación 1, 2 ó 3, caracterizado porque la pasada de la preforma tiene lugar menos de 6 veces, hasta obtener una geometría predeterminada de una forma final de la compactación superficial.
- 20 5. Procedimiento para la compactación superficial de un dentado según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en un dentado realizado en material sinterizado se lleva a cabo una pasada en sentido contrario de giro, con el fin de compactar la preforma para dar la forma final de una compactación superficial.
- 25 6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado porque antes de una inversión de sentido de procesado tiene lugar una breve descarga de la preforma mediante la herramienta de conformación.
- 30 7. Utilización de una máquina para la compactación superficial de un dentado con un programa de máquina para ajustar la compactación superficial del dentado con un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que un número de repeticiones de un movimiento de compactación de una herramienta de conformación para la compactación superficial en una preforma puede calcularse y realizarse de manera iterativa.
8. Producto de programa de ordenador con medios de codificación de programa, los cuales están almacenados en unos medios legibles por ordenador, para llevar a cabo un procedimiento según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 6, cuando se ejecuta el programa en un ordenador.

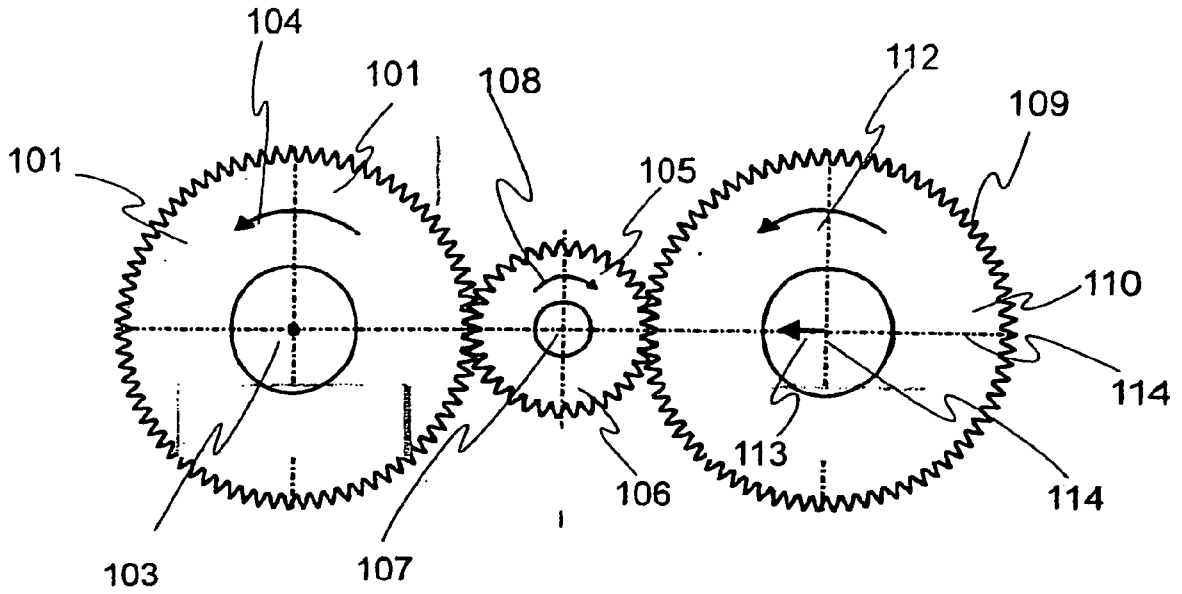


Fig. 1

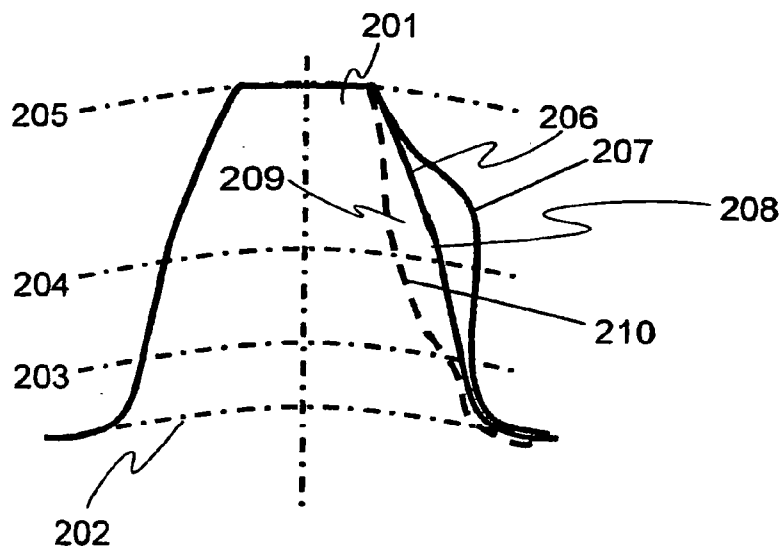


Fig. 2

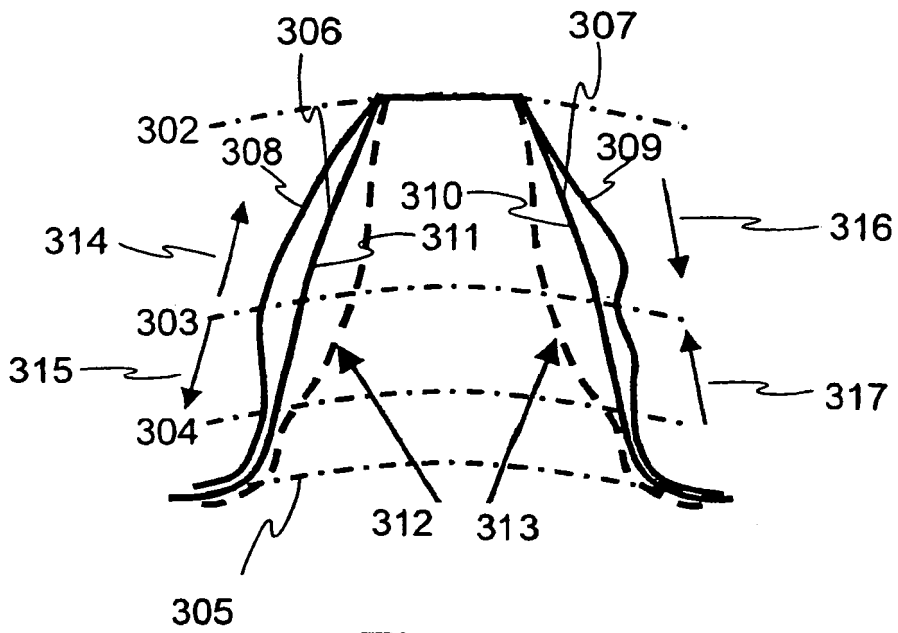


Fig. 3

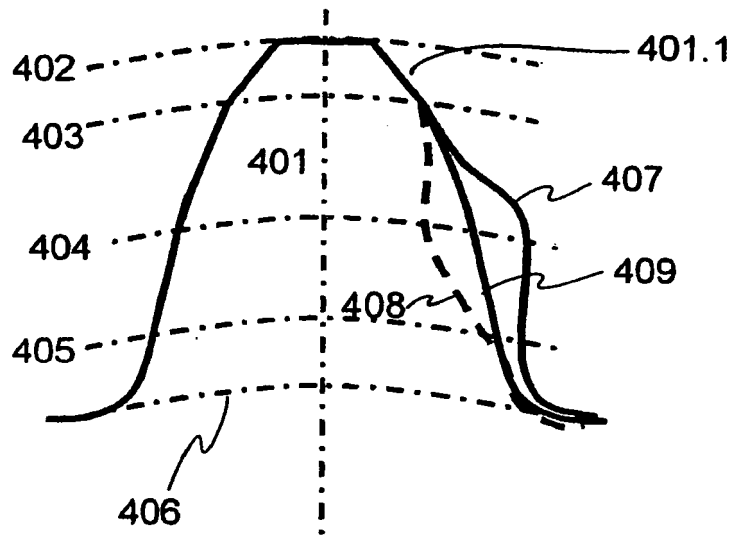


Fig. 4

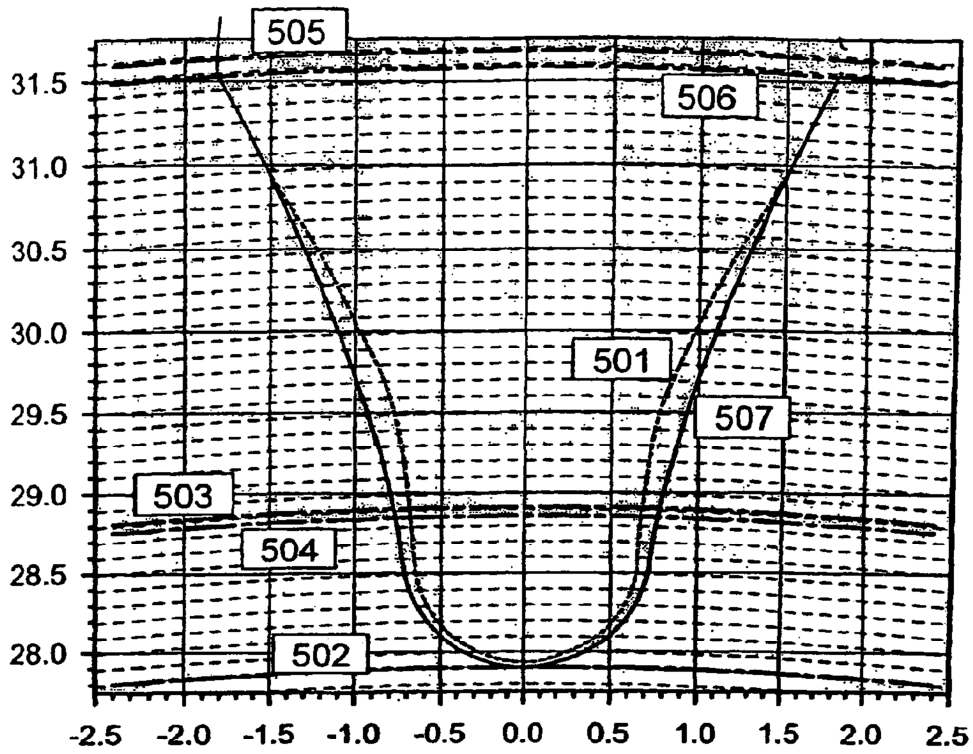


Fig. 5

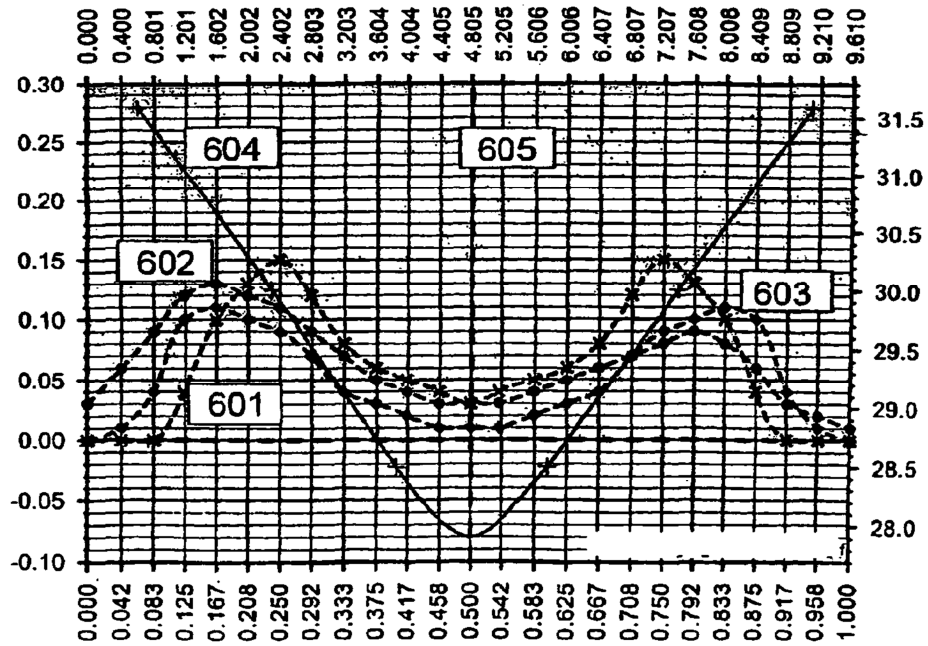


Fig. 6

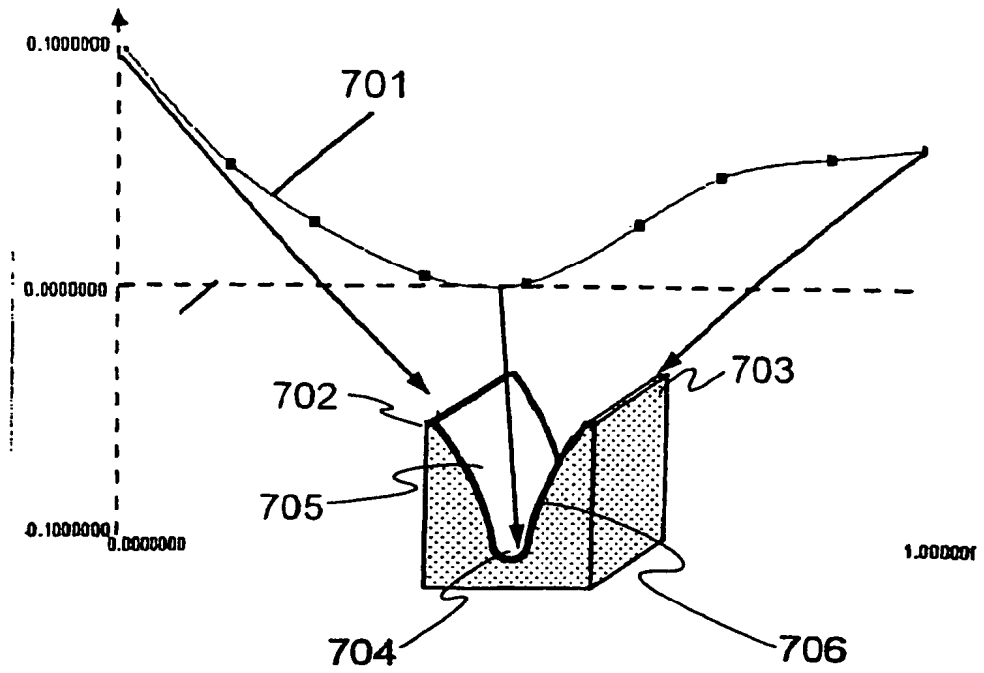


Fig. 7

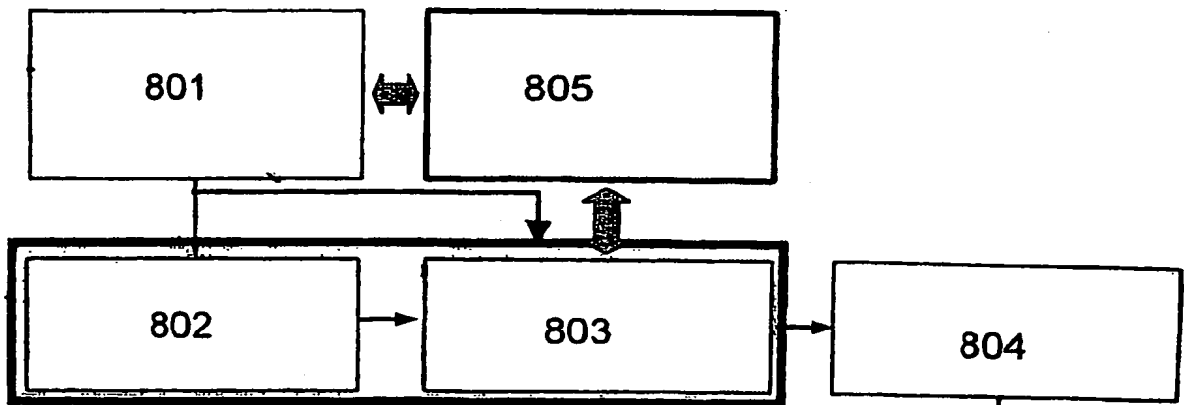


Fig. 8

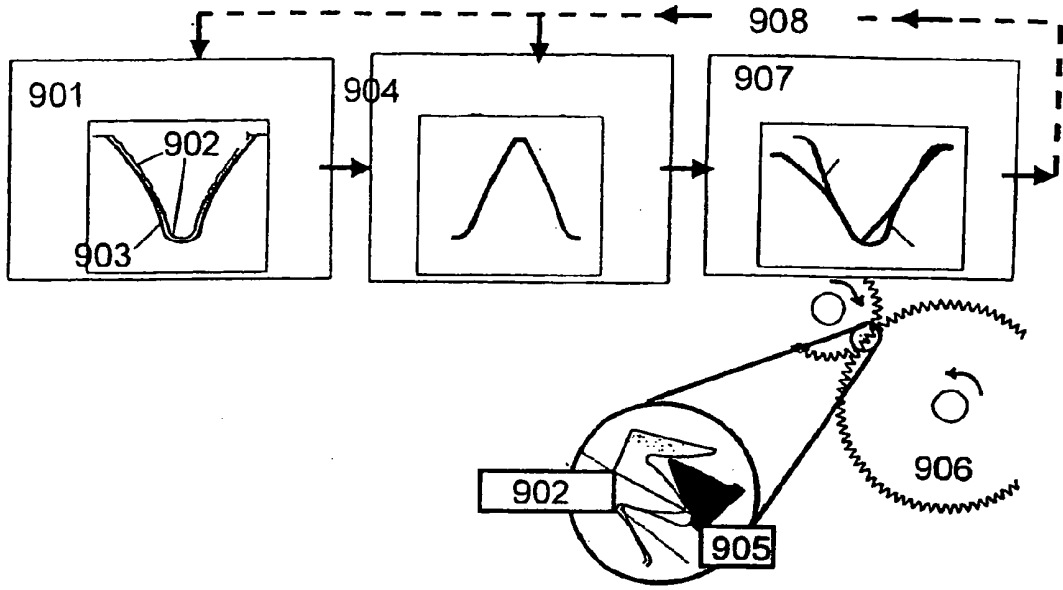


Fig. 9

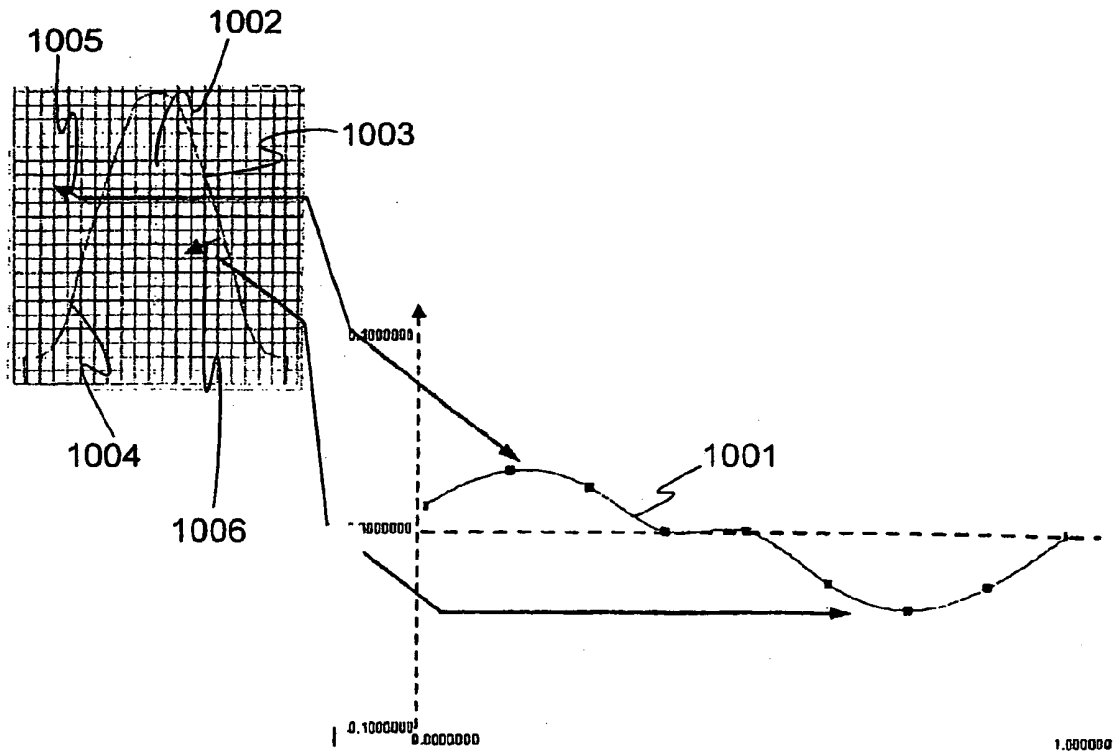


Fig. 10

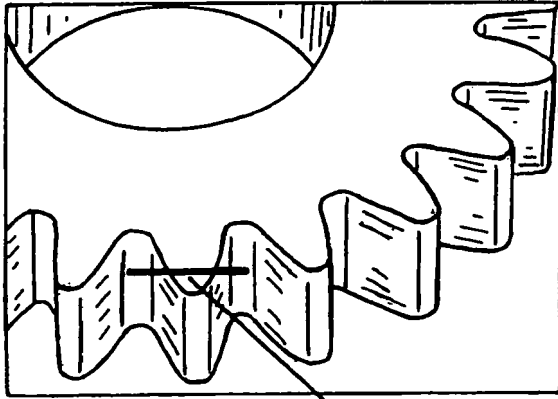


Fig.11



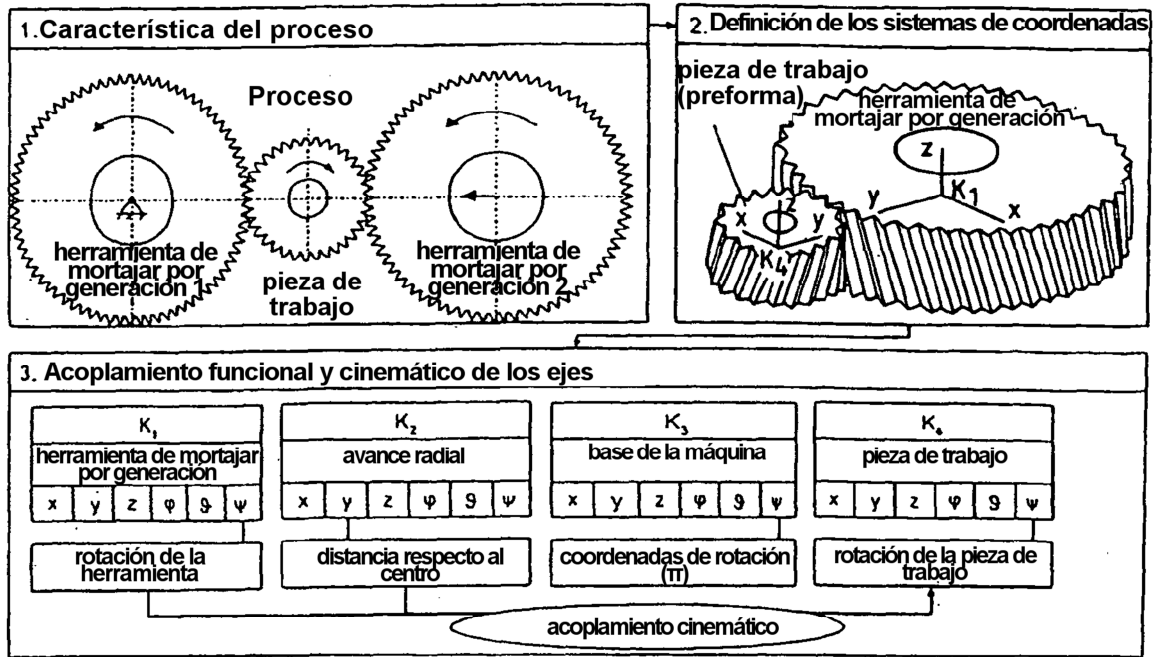


Fig.13

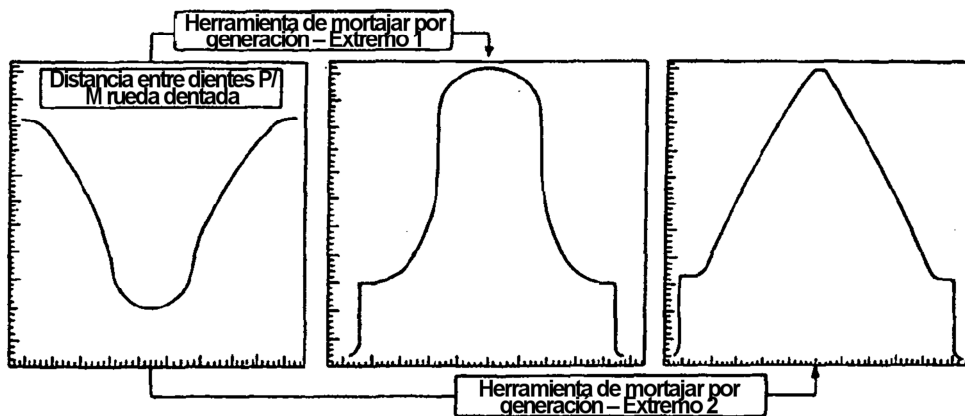


Fig.12

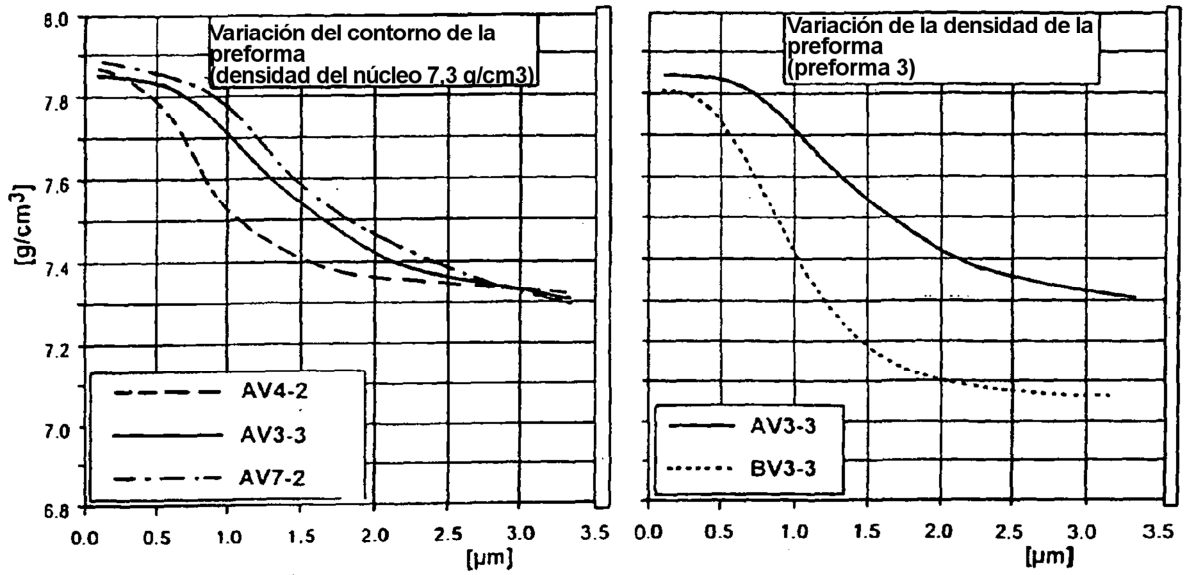


Fig.14

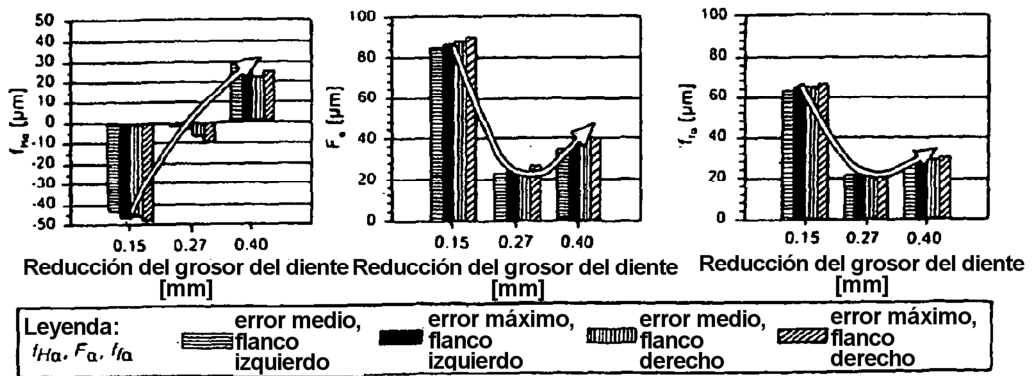


Fig.15

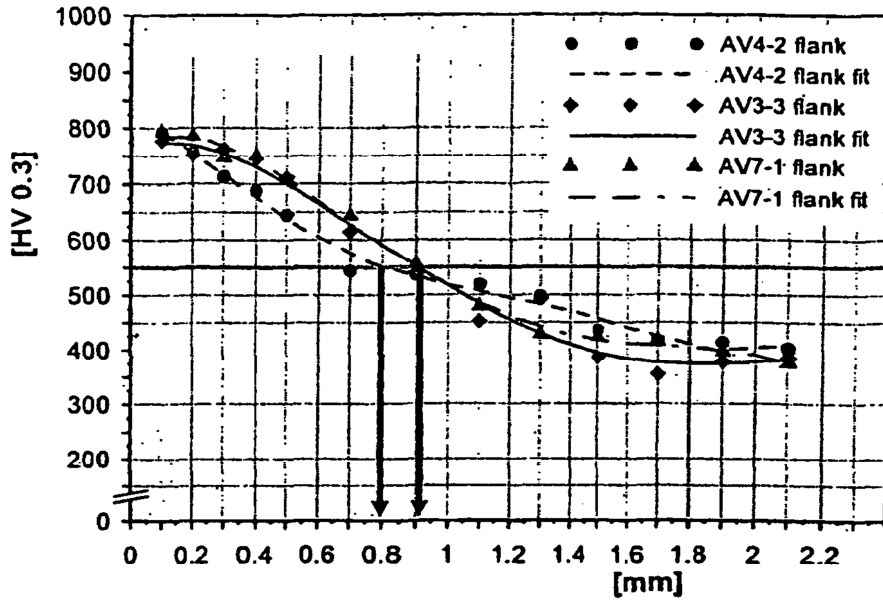


Fig. 16

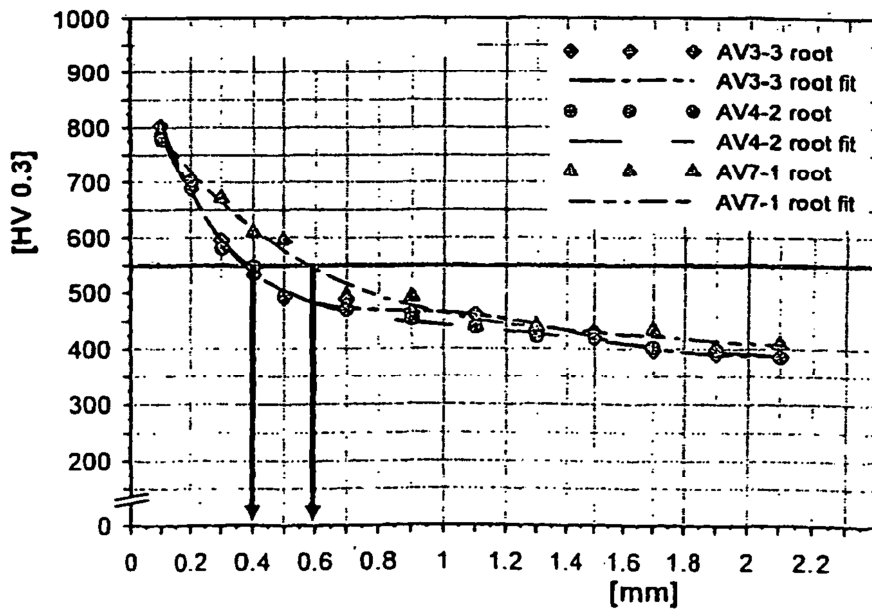


Fig. 17

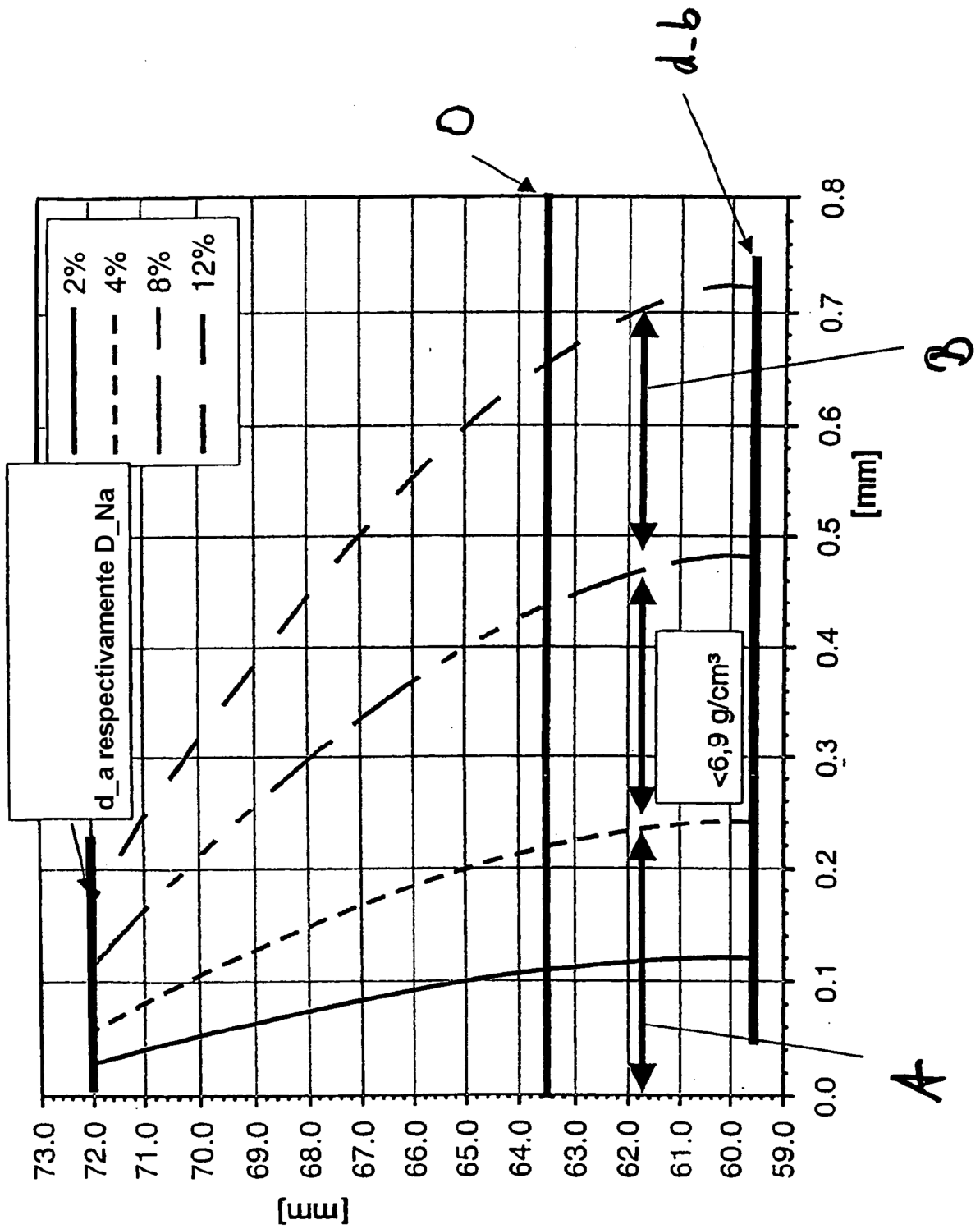
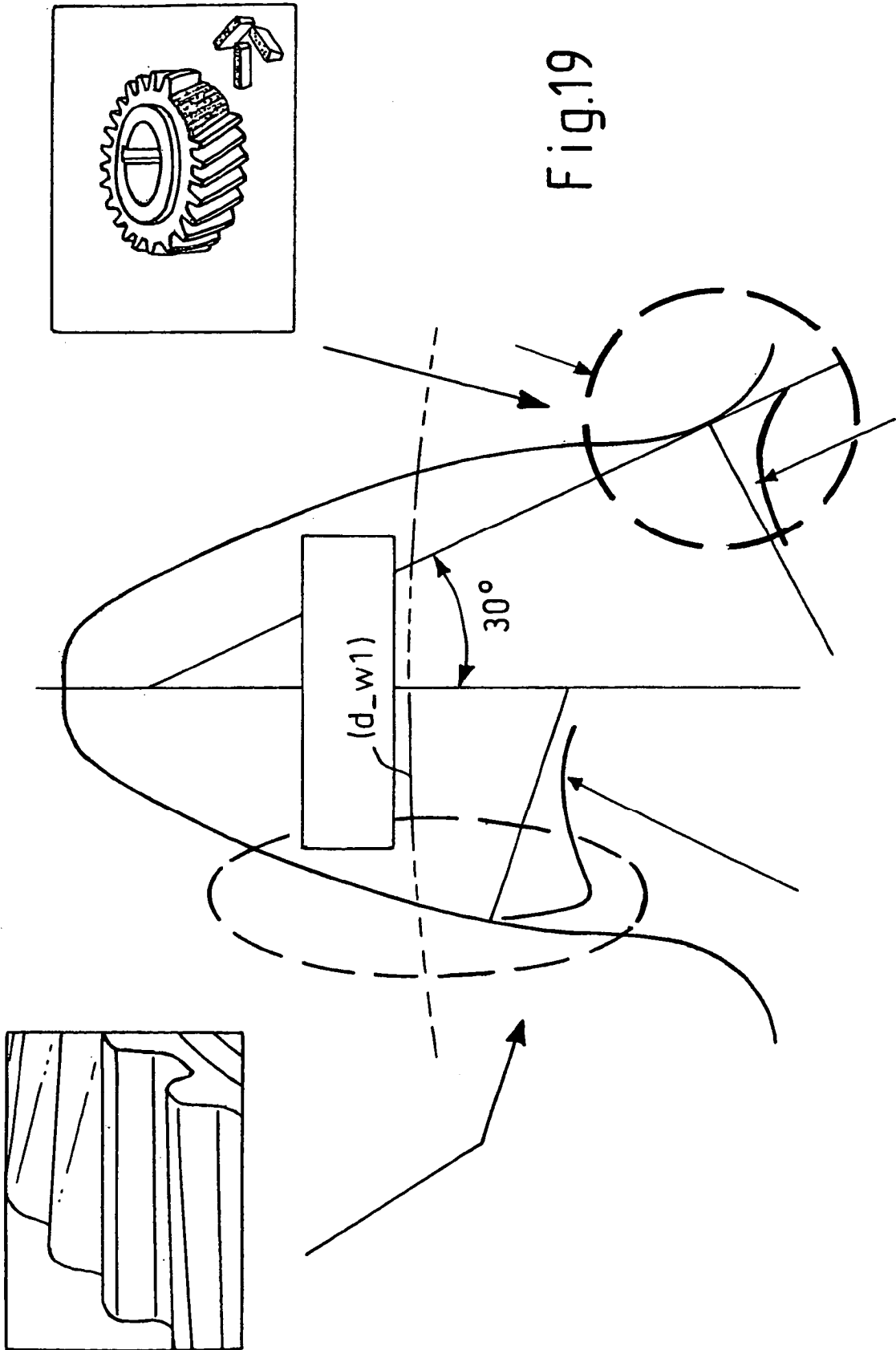


Fig. 18



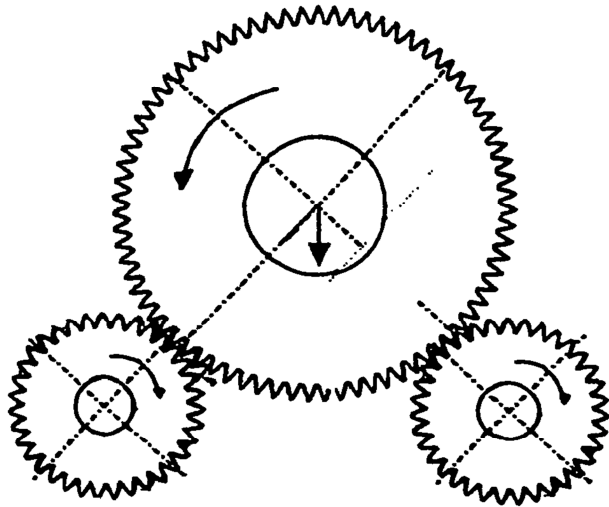


Fig. 20