

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 379 640**

51 Int. Cl.:

B22F 5/08 (2006.01)

B21H 5/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06761986 .6**

96 Fecha de presentación: **08.06.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **1888278**

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

54 Título: **Procedimiento para compactar un dentado con procedimientos diferentes**

30 Prioridad:
10.06.2005 DE 102005027054

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
30.04.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
30.04.2012

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

72 Inventor/es:
KOTTHOFF, Gerhard

74 Agente/Representante:
Curell Aguilá, Mireia

ES 2 379 640 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

Procedimiento para compactar un dentado con procedimientos diferentes.

5 La presente invención se refiere a una compactación superficial de una pieza con por lo menos un dentado de material sinterizado.

10 Los elementos de dentado sinterizados como, por ejemplo, ruedas dentadas fabricadas mediante metalurgia de polvos, se utilizan en campos extensos. Los materiales sinterizados presentan en general una densidad más pequeña en comparación con los materiales forjados de manera convencional realizados, por ejemplo, en acero. Del documento US 2004/0177719 A1 se desprende que una pieza en verde en forma de rueda dentada es sinterizada, la pieza sinterizada es sometida a chorro de bolas en un pie de diente y la rueda dentada es calibrada acto seguido.

15 La presente invención se plantea el problema de conseguir una mejora de una distribución de la resistencia de un elemento de dentado metálico que presenta un material sinterizado.

20 Este problema se resuelve mediante un procedimiento para la compactación superficial de una pieza con por lo menos un dentado de material sinterizado con las características de la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes se indican estructuraciones ventajosas y perfeccionamientos. Las características indicadas en cada caso en la descripción se pueden conectar en general como también en especial con las otras características para dar perfeccionamientos. En especial los ejemplos indicados, con sus características respectivas, no deben concebirse de forma limitante. Las características indicadas allí se pueden conectar más bien también con otras características de otros ejemplos o de la descripción general.

25 Según una idea de la invención, que se puede utilizar independientemente así como relacionada con otras características de la exposición, se propone una compactación superficial de una pieza con por lo menos un dentado de material sinterizado la cual es compactada superficialmente mediante un proceso de laminación, siendo compactada una primera superficie de la pieza, un dentado interior, con un procedimiento distinto que una segunda superficie de la pieza, un dentado exterior. Preferentemente, un primer dentado de la pieza presenta una compactación diferente que un segundo dentado de la pieza. Existe también la posibilidad, que no pertenece a la invención, de que un dentado exterior sea compactado superficialmente mediante un procedimiento de laminación, mientras que una segunda superficie es un taladro, la cual es compactada superficialmente con otro procedimiento. Preferentemente, un taladro en la pieza adquiere, después de una compactación superficial, una superficie endurecida y es llevada a continuación a una forma final. Esto permite la utilización del taladro para un árbol o un eje. Una mejora de la precisión se puede conseguir gracias a llevar a cabo, después de un endurecimiento del dentado, una compactación de la superficie.

40 En un perfeccionamiento del procedimiento para la fabricación de un elemento de dentado metálico, endurecido superficialmente por lo menos en parte, el cual presenta un material sinterizado compactado, se fabrica una preforma del elemento de dentado con una medida excesiva localmente selectiva con respecto a una medida final del elemento de dentado y se lamina, por lo menos mediante una herramientas de laminación, hasta la medida final, siendo compactado 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, localmente en una superficie.

45 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 para cadenas o similar. El material sinterizado compactado se fabrica en especial mediante procedimientos de metalurgia de los polvos. Por ejemplo, se sinteriza un polvo de metal bajo una presión en conexión con un tratamiento térmico. Además, se moldea por inyección polvo de metal en conexión con plástico así como se sinteriza, en especial bajo una presión, preferentemente con un tratamiento térmico. Para una conformación de la pieza sinterizada se utiliza, en especial, una forma de sinterización, la cual presenta para ello por lo menos la medida final del elemento de dentado que hay que fabricar. Preferentemente se utiliza como forma la pieza que resulta directamente del proceso de sinterización. En otra variante se puede disponer después, sin embargo, también por lo menos otro paso de mecanizado superficial. La preforma presenta al mismo tiempo una medida excesiva la cual debe entenderse como dimensión final, estando definida la diferencia preferentemente de forma puntual perpendicularmente con respecto a la superficie.

60 Como herramienta de laminación 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 laminación de este tipo se hace rodar, en especial bajo una presión, sobre una superficie del elemento de dentado. Preferentemente se utilizan en especial simultáneamente dos o varias herramientas de laminación de este tipo. Por ejemplo, se puede disponer una rueda dentada que haya que fabricar en posición central entre dos herramientas de laminación. Mediante aproximación de ambas herramientas de laminación se puede dar lugar acto seguido a una compactación superficial del material sinterizado del dentado. En general un procedimiento de fabricación de este tipo se conoce, por ejemplo, mediante Takeya *et al.* "Surface Rolling of sintered gears", SAE 1982 World Congress, Technical Paper 820234. Del documento DE 33 250 37, del US nº 4.059.879, del EP 0 552 272 A1, del EP 1 268 102 A1, del

US nº 5.729.822, del US nº 6.711.187, del US nº 5.884.527, del US nº 5.754.937, del US nº 6.193.927, del EP 0 600 421 A1, del GB 2.250.227 se desprenden también en cada caso diferentes procedimientos de fabricación, materiales sinterizados, herramientas, desarrollo de la compactación y dispositivos para dentados sinterizados, los cuales se pueden utilizar asimismo sumados a la invención. A las publicaciones citadas más arriba se remite en correspondencia con el marco de la presente exposición.

Por ejemplo, se puede utilizar una primera herramienta de laminación, bajo una primera presión, esencialmente para la laminación de contorno basta y a continuación una segunda herramienta de laminación bajo una segunda presión para la obtención de la compactación superficial que hay que ajustar selectivamente.

La medida excesiva localmente selectiva está dimensionada en especial de tal manera que el elemento de dentado es compactado de forma localmente variada 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 de borde en una superficie. Preferentemente se alcanza, dentro de la capa de borde compactada, una densidad completa, debiendo entenderse la densidad completa referida preferentemente a una densidad de un diente forjado con polvo comparable. Una preforma realizada en un material sinterizado presenta, por ejemplo, en un núcleo una densidad de por lo menos $6,8 \text{ g/cm}^3$, preferentemente de por lo menos $7,1 \text{ g/cm}^3$ y en especial de por lo menos $7,3 \text{ g/cm}^3$. En la capa de borde compactada la preforma presenta, por ejemplo, una densidad de por lo menos $7,7 \text{ g/cm}^3$, preferentemente de por lo menos $7,8 \text{ g/cm}^3$, lo que corresponde a la densidad de una preforma forjada con polvo hecha del mismo material. De forma especialmente ventajosa se consigue al mismo tiempo una distribución de la resistencia correspondiente a la solicitación. Además, se proporciona preferentemente, con una distribución de la densidad localmente variable y correspondiente a la solicitación, un dentado sinterizado altamente solicitable. La distribución de la densidad puede presentar, en especial en las zonas más solicitadas, un grado de densidad mayor a lo largo de una zona mayor, en comparación con zonas de menor carga directamente contiguas. Mediante una determinación de una sobredimensión optimizada se puede fabricar un dentado fabricado de esta manera, también de forma rentable en pocas etapas de trabajo.

Según una estructuración se genera conjuntamente la capa de borde compactada en cada caso de manera diferente, mediante una medida excesiva diferente, a lo largo de un flanco y/o base del diente de la preforma. Está previsto, por ejemplo, que una profundidad de la capa de borde compactada, vista en cada caso perpendicularmente con respecto a la superficie, presente en aproximadamente en el lugar de la solicitación máxima un máximo de la densidad. Este puede estar, por ejemplo, a la mitad de la altura del diente y disminuir en cada caso constantemente hacia la cabeza del diente y hacia el pie del diente. En especial para evitar picaduras se prevé, por ejemplo, que en una zona entre el 20% y el 30%, en especial entre el 23% y el 25%, por debajo del círculo evolvente se ajuste una compactación especialmente elevada en el material sinterizado. Pueden estar previstos, sin embargo, también otros recorridos. En especial se tiene en consideración, en la concepción de un recorrido de compactación, una distribución de la fuerza sobre un flanco de diente del elemento de dentado en su propósito de uso según la utilización. Por ejemplo se utilizan para ello las fuerzas que aparecen en dientes de una rueda dentada en un engranaje y se utilizan las distribuciones de tensión de comparación por debajo de la superficie. Esta manera de proceder es posible también en otros dentados.

Es especialmente ventajoso cuando una medida excesiva sobre un primer flanco del diente se elige de una manera diferente a como se hace 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 uso de un elemento de dentado. En una rueda dentada en un engranaje se tiene en cuenta para ello que, por ejemplo, dependiendo de un sentido de giro, aparecen en la dirección de giro otras fuerzas en los flancos de los dientes que en contra de la dirección de giro. Además, se puede compensar una compactación diferente sobre la base del sentido de giro de una herramienta de laminación. Las medidas excesivas se eligen preferentemente de tal manera que, tras un proceso de compactación, resulta una distribución de compactación idéntico a lo largo del primer y el segundo flancos de diente.

Por ejemplo, para evitar fisuras de esfuerzo en un pie de diente o zona de base de diente se aspira a una capa de superficie localmente compactada también en estas zonas. Es especialmente adecuado cuando en una base de diente se elige una medida excesiva asimétrica. Por ejemplo presenta una zona izquierda de pie de diente una profundidad de compactación diferente que un pie de diente derecho. 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 excesiva.

Preferentemente se prevé, en la estructuración de un dentado una sobredimensión diferentes, en especial asimétrica, no sólo con respecto a un flanco sino, preferentemente, con respecto a dos flancos opuestos entre sí. De manera adicional se prevé una sobredimensión diferente en el pie del diente, el cual es preferentemente asimétrico. Los flancos y los pies de diente de un dentado pueden ser también en cada caso asimétricos. Como sobredimensión hay que entender aquí no solamente el proporcionamiento de material adicional. Más bien pertenece a ello asimismo una medida inferior a la especificada. Por ello debe entenderse que debería estar previsto menos material sinterizado en una zona, que con respecto a un contorno final después de una etapa de mecanizado. La medida inferior a la especificada determinada asegura, por ejemplo, que en caso de desplazamiento de material sinterizado, no se formen elevaciones no deseadas. La medida inferior a la especificada representa por consiguiente una zona de una preforma con un dentado que hay que rellenar en especial mediante desplazamiento de material sinterizado.

Además, existe la posibilidad de prever diferentes ángulos de engrane en un diente de un dentado. De esta manera el ángulo de engrane de uno de los flancos del diente puede diferir en por los menos un 15% del ángulo de engrane del otro flanco del diente.

5 En una estructuración está previsto que por lo menos 20 μm por debajo de una superficie de un primer flanco del diente se genere, a la misma altura, una densidad un 2%, hasta por lo menos un 15%, mayor que sobre el segundo flanco del diente. Preferentemente, se consigue sobre el primer flanco del diente una densidad la cual corresponde por lo menos aproximadamente a la densidad que se consigue para un elemento de dentado forjado con polvo, mientras que por el contrario el segundo flanco presenta una densidad menor. Por ejemplo, se ajusta, sobre un flanco, una densidad en un intervalo comprendido 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 . En especial se tienen en consideración con ello de nuevo, por ejemplo, cargas diferentes que dependen de la dirección de giro de los dos flancos de diente. Preferentemente se consigue al mismo tiempo una distribución de la elasticidad y la dureza según las exigencias. De manera asimismo preferida se reduce con ello una generación de ruido, por ejemplo, en un engranaje.

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

25 Es especialmente adecuado que un valor de la medida excesiva local máxima sea por lo menos de 15 μm , preferentemente de por lo menos 100 μm y de forma especialmente preferida de por lo menos 400 μm . Si la densidad de la preforma está en un intervalo comprendido entre 7,2 g/cm^3 y 7,5 g/cm^3 se prevé una medida excesiva máxima comprendida entre 20 y 150 μm . Si la densidad de la preforma está entre 6,7 g/cm^3 y 7,2 g/cm^3 se utiliza, preferentemente, una medida excesiva máxima comprendida entre 50 μm y 500 μm . Una medida excesiva puede ser al mismo tiempo localmente también negativa, teniéndose en cuenta por ejemplo una redistribución lateral de material. Una redistribución lateral puede tener lugar mediante fluencia de material como consecuencia de un proceso de laminación. En especial puede estar prevista una medida excesiva negativa por lo menos localmente la cual esté localmente por debajo de la medida final. La medida excesiva negativa es, como máximo, de 100 μm . Según una estructuración, la sobredimensión negativa es como máximo inferior a 50 μm y en especial inferior a 20 μm . En especial la sobredimensión negativa máxima está en un intervalo comprendido entre 100 μm y 20 μm .

40 Preferentemente se consigue una compactación la cual alcanza, por lo menos 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, menor. Según 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 de diente correspondiente. Esto permite que el dentado tenga, por un lado, una resistencia suficiente y, por el otro lado, conserve sin embargo también una cierta deformabilidad. Con ello se evita una rotura de diente.

45 En una estructuración del procedimiento está previsto que la preforma y la herramienta de laminación se hagan rodar uno sobre el otro, hasta que se haya generado un movimiento conformador definitivo entre el elemento de dentado fabricado con ello y la herramienta de laminación. Esto se utiliza, por ejemplo, para la fabricación de ruedas dentadas que están engranadas entre sí. Preferentemente se reduce, durante el proceso de rodadura con la herramienta de laminación, una distancia entre la herramienta de laminación y la preforma. Correspondientemente se ajusta o adapta para ello en especial una presión de rodadura. Además de la posibilidad de un control mediante fuerza se puede hacer realidad también un control mediante el recorrido en la máquina. Además, existe la posibilidad de prever una combinación de control mediante fuerza y mediante el recorrido durante la fabricación del dentado. Al mismo tiempo puede tener lugar también, en una sección de la fabricación, un control mediante el recorrido puro y en otra sección de la fabricación un control mediante fuerza puro. Estos se pueden intercambiar también varias veces.

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

60 Además de los elementos de dentado en el sentido de ruedas dentadas se pueden fabricar también otros elementos de dentado. Por ejemplo, está previsto que como elemento de dentado se fabrique un talón. Se puede fabricar en especial un talón como se utiliza por ejemplo para el accionamiento mecánico de un dispositivo de ajuste, por ejemplo para el ajuste de una válvula o similar. Preferentemente se proporciona, mediante una compactación variada localmente de una capa de borde, sobre un flanco de un talón, un recorrido de resistencia mejorado con una menor propensión al desgaste.

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

5 En una primera variante se utiliza como proceso de endurecimiento térmico y/o químico, por ejemplo, una cementación. Preferentemente se consigue al mismo tiempo, además de un aumento de la dureza, una eliminación de deformaciones. En otra variante se utiliza, por ejemplo, un proceso de carbonitruración. Además se puede utilizar un proceso de nitrurado o nitrocarburoción así como un proceso de boronización. En especial se consigue durante estos procesos, en relación con un tratamiento térmico, asimismo una reducción de una deformación. Mediante el
10 ajuste de la presión reinante se puede influir asimismo sobre el endurecimiento. Por ejemplo, se puede ajustar un vacío, en especial cuando se lleva a cabo una cementación. Existe también la posibilidad de llevar a cabo un endurecimiento por inducción.

15 El endurecimiento es llevado a cabo, según 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, endurecido superficialmente por lo menos en parte, el cual presenta un material sinterizado compactado, comprenda las etapas de "compresión en frío o en caliente, sinterización, laminación de compactación de medidas y superficie así como cementación". Por ejemplo, tiene lugar en primer lugar una compresión en frío de un polvo metálico en un molde, que presenta por lo menos aproximadamente la medida final del elemento de dentado que hay que fabricar. En una segunda etapa tiene lugar por ejemplo un proceso de sinterización bajo la acción del calor o sin acción de la presión. Preferentemente, a continuación tiene lugar la compactación de medidas y superficie mediante cilindros. Como se ha mencionado ya más arriba, tiene lugar una laminación de compactación de medidas y superficie preferentemente de manera simultánea mediante por lo menos dos herramientas de laminación. Conectado a ello puede tener lugar, finalmente, el endurecimiento, en especial cementación, que hace posible un endurecimiento adicional de la superficie.

30 Otras posibles etapas del procedimiento o desarrollos del procedimiento así como indicaciones más precisas acerca de las herramientas se indican a continuación a título de ejemplo. Las etapas del procedimiento se pueden llevar a cabo sin embargo también con otros materiales y valores de la densidad alcanzados. Los materiales sinterizados que se pueden utilizar se pueden utilizar como sigue de manera general en el marco de la invención, indicándose a título de ejemplo materiales utilizables:

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

Ancorsteel 1000+1,5-3,5 w/o Cu + 0,6-1,1 w/o grafito + 0,5-1,2 w/o lubricante Ancorsteel 1000B+1,5-2,2 w/o Ni + 0,4-0,9 w/o grafito + 0,6-1,1 w/o lubricante

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

45 - polvos prealeados (pre-alloyed powders): polvo de dos o más elementos, los cuales son aleados durante la fabricación del polvo, siendo las partículas de polvo distribuidas uniformemente. Por ejemplo: Ancorsteel 4600V, Ancorsteel 2000, Ancorsteel 86, Ancorsteel 150HP.

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

Ancorsteel 85P+1,5-2,5 w/o Ni + 0,4-0,8 w/o grafito + 0,55-1,1 w/o aditamento de lubricación Distaloy AE + 1,5-2,5 w/o Ni + 0,4-0,8 w/o grafito + 0,55-0,95 aditamento de lubricación Ancorsteel 85HP + 1,1-1,6 w/o FeMn + 0,35-0,65 w/o grafito + 0,6-0,95 aditamento de lubricación

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

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

65 Con un material prealeado se lleva a cabo un prensado en frío, una sinterización en un intervalo de temperaturas comprendido entre 1.100°C y 1.150°C, una compactación superficial, una cementación y un amolado posterior, con el fin de conseguir una forma final de una pieza con dentado.

Con un material sinterizado metálicos, aleado parcialmente, se lleva a cabo un prensado en caliente, para una

ES 2 379 640 T3

temperatura de prensa en un intervalo comprendido entre 50°C y 80°C, una sinterización a alta temperatura en un intervalo comprendido preferentemente entre 1.250°C y 1.280°C, una compactación superficial, una cementación en vacío posterior y un bruñido, con el fin de conseguir una forma final de una pieza con dentado.

5 Con una aleación híbrida que presenta un material sinterizado se lleva a cabo un prensado en caliente, en el cual se calienta preferentemente el polvo y la herramienta. Preferentemente estos están calentados en un intervalo comprendido entre 120°C y 150°C. A continuación tuvo lugar un paso de sinterización, por ejemplo como sinterización de alta temperatura, una compactación superficial y, a continuación, un temple por inducción. Se puede suprimir por ejemplo un tratamiento posterior.

10 2. La preforma está forjada con polvo. Esta preforma es compactada superficialmente, por lo menos parcialmente, en la zona de los flancos de diente y/o el pie de diente. Una densidad del núcleo de la pieza vale entre 5,7 g/cm³ y 7,7 g/cm³. Una densidad superficial en la zona de la es superior a 7,8 g/cm³, estando preferentemente en esta zona obturados todos los poros restantes en la superficie. Se puede generar sin embargo también una densidad
15 máxima hasta una profundidad de 1,5 mm.

Un procedimiento de fabricación puede desarrollarse como sigue: elección del material de polvo, prensado en frío del material de polvo, sinterización preferentemente con una temperatura de aproximadamente 1.120°C, a continuación forjado, preferentemente a una temperatura de aproximadamente 1.000°C, eventual retirada de una
20 capa de óxido, compactación superficial en especial mediante rodadura. Endurecimiento superficial, en especial cementación, y amolado parcial a continuación hasta un contorno final. El procedimiento se puede desarrollar, total o parcialmente, en una línea de fabricación.

Otra estructuración prevé que durante el endurecimiento superficial se lleva a cabo una cementación en vacío, al que se conecta un paso de rectificado y bruñido para zonas parciales del dentado.

25 3. En especial para la producción de rotores y ruedas de bombas de aceite se compacta superficialmente una preforma de un material que contiene aluminio en la zona de los flancos de diente y/o de los pies de diente. Durante la compactación superficial se consigue, en 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.
30

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 una
35 intervalo de temperatura comprendido entre 420°C y 440°C, es sinterizado después, por ejemplo en un intervalo de temperatura por encima de 550°C, en especial en un intervalo de temperatura comprendido entre 600°C y 630°C, después homogeneizada y enfriada, por ejemplo hasta una temperatura comprendida entre 480°C y 535°C, teniendo en cuenta a continuación una compactación superficial en especial mediante laminado. A continuación puede tener lugar un endurecimiento, por ejemplo en un intervalo de temperatura comprendida entre 120°C y 185°C durante un espacio de tiempo comprendido entre 6 h y 24 h.

40 4. La preforma es compactada preferentemente a lo largo del diente de flanco y del pie de diente, utilizándose en especial dos herramientas de laminación, en cuyo centro está dispuesta la preforma con posibilidad de giro. Una densidad del núcleo de la pieza está comprendida, dependiendo del material, preferentemente entre 7,2 g/cm³ y 7,5 g/cm³, una densidad superficial es, dependiendo del material, por lo menos por secciones, mayor que
45 7,8 g/cm³. Una densidad máxima está presente, en especial hasta una profundidad de 1 mm, eventualmente, también después.

De las etapas de fabricación se propone, según una estructuración, prensar el material presente en frío, sinterizarlo a continuación, en especial en una zona de temperatura comprendida entre 1.100°C y 1.150°C, llevar a cabo una compactación superficial, llevar a cabo en endurecimiento y amolar la superficie eventualmente de forma parcial.

Otra forma de estructuración prevé prensar en caliente un material sinterizado parcialmente aleado, en especial en un intervalo de temperatura comprendido entre 50°C y 90°C, llevar a cabo una sinterización a alta temperatura, en especial en un intervalo de temperatura comprendido entre 1.240°C y 1.290°C, llevar a cabo una compactación
55 superficial, realizar y, eventualmente, bruñir a continuación.

Otra estructuración prevé prensar en caliente una aleación híbrida, estando calentado el polvo y la herramienta de prensado preferentemente en un intervalo de temperatura comprendido entre 120°C y 160°C. Después de un paso de sinterización tiene lugar una compactación superficial, a la que se conecta un endurecimiento, en especial un
60 temple por inducción.

5. Existe además la posibilidad de que a una sinterización previa le siga una compactación superficial y que esté previsto después de nuevo una sinterización posterior como paso del procedimiento durante la fabricación de una pieza con dentado. La sinterización previa puede tener lugar, por ejemplo, en el intervalo de temperatura comprendido entre 650°C hasta 950°C. La sinterización posterior puede tener lugar, por ejemplo, a una
65 temperatura de sinterización usual para el material comprendida, por ejemplo, entre 1.050°C y 1.180°C. Existe

también la posibilidad de la sinterización a alta temperatura, por ejemplo, en un intervalo comprendido entre 1.250°C y 1.280°C. Después se puede conectar, opcionalmente, un endurecimiento y/o una operación posterior, por ejemplo un bruñido o también un amolado.

- 5 El prensado previo puede tener lugar en frío, en caliente o calentado, estando en el último la herramienta de prensado y el polvo preferentemente calentados. El prensado calentado tiene lugar, por ejemplo, en un intervalo de temperatura comprendido entre 120°C y 160°C.
- 10 6. Un perfeccionamiento prevé que, después de un paso de sinterización posterior, tenga lugar un endurecimiento por sinterización. De manera opcional se puede agregar a ello un amolado o un bruñido.
- 15 7. Otro procedimiento de fabricación prevé compactar la preforma a una temperatura la cual está por encima de 150°C, en especial por encima de 500°C. Por ejemplo, la preforma se puede conducir la preforma directamente desde un horno de sinterización a una máquina para la compactación superficial. Al mismo tiempo la preforma puede presentar una temperatura la cual es, por ejemplo, superior a 600°C, en especial tiene un valor también superior a 800°C. Preferentemente, se calienta la o las herramientas para la compactación superficial, por ejemplo hasta una temperatura de aproximadamente 150°C. Según otra estructuración la herramienta para la compactación superficial está refrigerada, preferentemente mediante una refrigeración que discurre por el interior de la herramienta.
- 20 8. Otro procedimiento de fabricación prevé que tenga lugar una compactación superficial, mientras que la preforma es calentada por lo menos parcialmente. El calentamiento tiene lugar en especial hasta una temperatura que simplifica la compactación superficial. Preferentemente se utiliza para ello un calentamiento por inducción. A continuación tiene lugar un enfriamiento rápido, con el fin de crear una estructura martensítica. De esta manera se puede combinar, por ejemplo, un proceso de desmoldado con una compactación superficial.
- 25

Otra estructuración de la invención prevé que una compactación superficial se pueda llevar a cabo con los procedimientos más diversos. Una estructuración prevé, en especial, que en una primera zona la compactación superficial se lleve a cabo con otro procedimiento que en una segunda zona distinta. Como procedimiento pueden tener aplicación al mismo tiempo un granallado de endurecimiento, un perdigonado con bolas, una compactación mediante una bola, mediante un cilindro o mediante otro cuerpo que se puede hacer rotar, mediante herramientas estructuradas en forma de diente, en especial herramientas de laminación y similares. Estos procedimientos son adecuados en cada caso también separados individualmente entre sí para permitir una compactación superficial necesaria.

30

35 Por ejemplo, el pie del diente no se compacta apenas o solo ligeramente con una herramienta, con la cual se compacta también el flanco del diente. Existe la posibilidad de compactar tanto la superficie en una sección que estén cerrados únicamente los poros en la superficie. A continuación se puede procesar el pie del diente con otra herramienta o respectivamente 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 diferentes calidades superficiales, por ejemplo, con respecto a la rugosidad. La depresión superficial máxima puede ser también diferente debido a las diferentes técnicas. Además, existe la posibilidad de que la totalidad de la pieza con el dentado reciba una compactación superficial, así por ejemplo durante el granallado superficial. De esta manera se pueden procesar, en especial, también materiales sinterizados que contienen aluminio u otros materiales sinterizados que forman óxido, dado que con la compactación superficial se puede hacer posible también una retirada de una capa de óxido.

40

45

50 La invención se refiere además a una preforma para un procedimiento para la fabricación de un elemento de dentado metálico, endurecido superficialmente por lo menos en parte, que presenta un material sinterizado compactado, presentando en cada caso un primer y un segundo flanco de un diente una medida excesiva asimétricas que diverjan en cada caso entre sí. Además, está previsto también que una primera y segunda zona del pie de un diente presenten medidas excesivas divergentes entre sí, en especial asimétricas.

55 La invención se refiere además a un elemento de dentado con un material sinterizado metálico, presentando el elemento de dentado, por lo menos en una 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 los polvos en conexión con un endurecimiento superficial. De forma especialmente preferida se hace posible, por ejemplo en ruedas dentadas de engranajes, una reducción del ruido durante la transmisión de fuerza y se proporciona, al mismo tiempo, una buena resistencia al desgaste.

60

En una primera variante está previsto que el elemento de dentado sea una rueda dentada, dentada graduada.

65 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, dentada oblicuamente. Además, puede estar prevista, en otra variante, también una rueda dentada cónica. En correspondencia con la descripción expuesta más arriba es adecuado que flancos opuestos entre sí de dientes de un elemento de dentado

presenten una compactación asimétrica.

Además, es adecuado que exista una compactación asimétrica en una zona interior. Esta compactación está adaptada al mismo tiempo en especial a las fuerzas que aparecen en una utilización según la utilización. Para evitar fisuras iniciales de esfuerzo está previsto en especial que la profundidad de la capa de borde compactada localmente sea únicamente tan alta que se garantice todavía una elasticidad o rigidez suficiente del diente.

Como forma especial del elemento de dentado puede estar previsto que el elemento de dentado sea un talón. Las realizaciones anteriores deben utilizarse aquí correspondientemente apareciendo, por ejemplo, los flancos del talón en lugar de los flancos de los dientes.

Para un material de un elemento de dentado pueden estar previstas diferentes composiciones. En una primera variante se ha elegido material de hierro como componente principal del material de sinterización y de por lo menos un componente de aleación de un grupo formado por carbono, molibdeno, níquel, cobre, manganeso, cromo y vanadio. Una aleación de hierro es, por ejemplo, Fe-1,0 Cr-0,3 V +0,2 referida a una referencia 15CrNiMo6. Otra aleación de hierro es, por ejemplo, Fe -1,5Mo +0,2C referida a 20MnCr5. Además se prevé, por ejemplo, como aleación que contiene hierro Fe -3,5 Mo, referida a 16MnCr5. Asimismo se puede utilizar la aleación por ejemplo C 0,2% Cr 0,5% Mn 0,5% Mo 0,5%, siendo el resto hierro y impurezas. Además, pueden estar previstas otras composiciones.

Preferentemente, para una reducción del peso de un elemento de dentado, está previsto que como parte integrante principal del material sinterizado se elige aluminio o magnesio. Según un aspecto de la invención está previsto que un dentado compactado superficialmente hecho de material sinterizado presenta por lo menos un 80% de aluminio así como, por lo menos, cobre y magnesio como otros materiales sinterizados. Una primera estructuración prevé se usa adicionalmente silicio como material sinterizado. Por ejemplo, puede estar presente silicio en un intervalo de aproximadamente 0,45% hasta aproximadamente 0,8%, preferentemente entre 0,6% y 0,75%. El silicio puede estar presente sin embargo también en un intervalo 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 proporción de cobre en el material sinterizado. De este modo, una primera mezcla puede presentar por ejemplo cobre con una proporción del 4% al 5%, silicio con una proporción de 0,45% hasta aproximadamente 0,8%, magnesio con aproximadamente 0,35% hasta 0,7% y el resto por lo menos fundamentalmente aluminio. Se añade, adicionalmente, preferentemente un medio auxiliar de prensado. Éste puede presentar una porción comprendida entre 0,8 y 1,8%. Por ejemplo, se puede utilizar para ello una cera, en especial unas ceras amídicas. Una segunda mezcla puede presentar, por ejemplo, cobre en una proporción del 2,2% al 3%, silicio con una proporción del 13% hasta aproximadamente el 17%, magnesio con una proporción de aproximadamente el 0,4% hasta el 0,9% y el resto por lo menos principalmente aluminio. Asimismo puede encontrar aplicación un medio auxiliar de prensado como se ha indicado 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 g/cm³, preferentemente de hasta la densidad máxima. Preferentemente una pieza con un dentado, fabricada de esta manera presenta, una resistencia a la tracción de por lo menos 240 N/mm² y una dureza de por lo menos 90 HB. Si el silicio es mayor, la densidad puede ser en espacial también mayor de 2,6 g/cm³.

Una segunda estructuración prevé que adicionalmente se utilice por lo menos cinc como material sinterizado junto a cobre o magnesio como aditivos y aluminio. Preferentemente el cobre tiene una proporción en un intervalo comprendido entre el 1,2% y el 2,1%, en especial entre el 1,5% y el 1,65%, magnesio entre 1,9% y el 3,1%, preferentemente entre 2,45% y 2,65%, cinc entre el 4,7% y el 6,1%, en especial entre 2,3% y 5,55%. El resto es por lo menos principalmente aluminio. Adicionalmente se puede utilizar también un medio auxiliar de prensado como se ha descrito. Una pieza con un dentado fabricada con esta mezcla presenta preferentemente, después de la compactación superficial, por lo menos un intervalo del dentado, en el cual discurre una necesidad de por lo menos 2,58 g/cm³ hasta la densidad máxima. Preferentemente una pieza con un dentado, fabricada de esta manera, presenta una resistencia a la tracción de por lo menos 280 N/mm² y una dureza de por lo menos 120 HB.

Es especialmente adecuado que un elemento de dentado sea sinterizado con otro componente funcional, en especial un árbol u otra rueda dentada. En especial se facilita con ello un mantenimiento de una distancia de trabajo precisa entre varios elementos de dentado, por ejemplo 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 hace engranar con otra rueda dentada evolvente.

La invención se refiere además a un dispositivo para la fabricación de un elemento de dentado, compactado superficialmente por lo menos en parte, en especial para la realización de un procedimiento descrito más arriba con un control de herramienta adaptado a una medida excesiva diferente. El dispositivo comprende al mismo tiempo en especial por lo menos una herramienta de laminado, la cual puede actuar sobre la preforma, preferentemente con la ayuda del control de herramienta adaptado, preferentemente bajo una presión adaptada y/o recorrido controlado en un engrane adaptado. El dispositivo comprende en especial una herramienta de laminación con una superficie dentada, la cual se puede llevar a engranar con el dentado del elemento de dentado y que se puede hacer rodar encima.

Es además objeto de la invención un dispositivo para la fabricación de un elemento de dentado, endurecido superficialmente por lo menos en parte, a partir de una preforma hecha de un material sinterizado, por lo menos en una zona superficial, comprendiendo el dispositivo una herramienta, la cual presenta una compensación de diferentes medidas excesivas en un primer y un segundo flancos de un diente de la preforma que hay que compactar mediante movimiento combinado de rodadura y de deslizamiento. La herramienta de laminación puede presentar al mismo tiempo un contorno necesario para la conformación, por ejemplo un dentado evolvente, únicamente sobre un flanco o sobre ambos flancos de un diente. En otra variante está previsto, sin embargo, también que sobre en cada caso un primer o un segundo flanco de un diente del dentado de la herramienta de laminación existan, en cada caso, medidas excesivas que divergen entre sí. Esto puede ser, por ejemplo, un dentado evolvente diferente.

La invención se refiere además a un procedimiento para el dimensionamiento de una medida excesiva para la obtención de una compactación superficial de un elemento de dentado de metálico sinterizado en un proceso de rodadura, siendo determinada la medida excesiva de forma iterativa. En un primer paso se predeterminar por ejemplo una geometría así como, en especial, un momento de giro y/o una distribución de la presión. En otro paso se define, por ejemplo, un dimensionamiento de una herramienta de laminación. Además se determina una preforma con una medida excesiva 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, determinados sobre la base de diferentes parámetros. Además, puede tener lugar una simulación del proceso de compactación o laminación. Para ello se simula por ejemplo la cinemática del proceso de rodadura en relación con una simulación de propiedades elásticas y plásticas de la preforma así como, en su caso, de la herramienta de laminación. Para la simulación de las propiedades elásticas o plásticas de la preforma se recurre, por ejemplo, a modelo de la mecánica de continuo en relación con una solución discreta mediante por ejemplo elementos finitos o métodos de volúmenes finitos.

En una estructuración preferida está previsto que una geometría de una herramienta de rodadura se determine de forma iterativa teniendo en cuenta la medida excesiva. Por ejemplo se puede determinar una medida excesiva de un dentado evolvente de la herramienta de laminación. Correspondientemente se puede determinar una medida excesiva para otro dentado diferente a uno evolvente.

En una estructuración especialmente preferida está previsto que en una primera etapa se genere automáticamente, en zona de un flanco de un diente variado localmente, una medida que se puede definir por lo menos puntualmente de una preforma del elemento de dentado sobre la base de una especificación de construcción, en una segunda etapa se genere automáticamente, en una tercera etapa se simule un proceso de rodadura y se simule un recorrido local, generado al mismo tiempo, de una compactación de por lo menos una capa de borde del elemento de dentado y, en una cuarta etapa, o se compare una evaluación automática del recorrido generado de la compactación con una especificación así como, en su caso, se repita el procedimiento, a partir del primer paso, con la utilización de por lo menos una variación, para su optimización, hasta que se satisfaga el 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 la distribución de la densidad deseada y la distribución de la densidad conseguida en la simulación. Además, un criterio de interrupción puede ser también una superación de un número predeterminado de iteraciones.

Especialmente adecuado es que la especificación de construcción se elija del grupo de la densidad del material, la geometría, el momento de giro y la distribución de la presión. El momento de giro debe entenderse al mismo tiempo como el momento de giro que aparece durante el objetivo de utilización según la utilización de un elemento de dentado.

Es adecuado, en especial para evitar fisuras del material, que se simule una tensión de material por lo menos en la zona de la compactación y se utilice en especial para la valoración. Con ello se evita preferentemente que una superficie, si bien esté suficientemente endurecida, sea sin embargo frágil, a causa de las tensiones, y tienda a fisuras de esfuerzo.

Además, es ventajoso que para la variación se utilicen datos guardados en un banco de datos. En especial se puede acceder al mismo tiempo a procedimientos para la optimización y para el análisis de datos, por ejemplo, mediante redes neuronales. Además, las características guardadas en el banco de datos se utilizan, por ejemplo, para la optimización mediante un algoritmo genético.

En otra estructuración puede ser sustituida por lo menos una de las etapas por una especificación. Preferentemente se predetermina de manera fija una geometría de herramienta de laminación. Con ello se tiene en cuenta el hecho de que una herramienta de laminación es mucho más compleja de modificar que, por ejemplo, una preforma. Otra estructuración prevé una forma de proceder inversa. Preferentemente se calcula, partiendo de una forma final, una preforma o la herramienta de laminación para la fabricación de la forma final así como también la herramienta de prensas para la fabricación de la preforma.

Finalmente, es objeto de la invención un producto de programa de ordenador con medios de codificación de programas, que están almacenados sobre un medio que se puede leer mediante ordenador, para llevar a cabo por lo menos uno de los procedimientos arriba descritos, cuando el programa se hace correr en un ordenador. Un medio que se puede leer mediante un ordenador es, por ejemplo, un medio de almacenamiento magnético, magnetoóptico u óptico. Además, se utiliza por ejemplo un chip de memoria. Además, puede estar realizado un medio que se puede leer con ordenador también mediante una memoria remota, por ejemplo mediante una red de ordenadores.

El programa de ordenador puede estar almacenado por ejemplo en una máquina para la compactación superficial. También puede tener lugar un cálculo, por separado de la máquina para la compactación superficial. La máquina dispone sin embargo de un control, en especial un control guiado por el recorrido y/o por la fuerza, en el cual se pueden introducir las coordenadas y los recorridos de movimiento, para compactar una preforma.

Según otro aspecto de la invención se prevé un molde de herramienta de prensado con el cual se puede prensar una preforma de material sinterizado la cual, a continuación, es compactada superficialmente a una forma final. Este molde de herramienta de prensado está calculado iterativamente. Preferentemente se parte al mismo tiempo asimismo de datos 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 las más diversas compactaciones superficiales. Con ellas se puede determinar en especial también datos los cuales, una vez evaluados, pueden entrar en el procedimiento de cálculo. Preferentemente se pueden formar para ello valores característicos adecuados a partir de un gran número de mediciones. Gracias a ellos se pueden obtener por ejemplo valores iniciales para el cálculo iterativo de la preforma, la herramienta o la herramienta de prensado. El banco de pruebas de laminación puede poseer también una medición automatizada de piezas compactadas superficialmente, que presentan un dentado.

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

Según otra idea de la invención, que se puede utilizar de forma independiente aunque también conectada con las otras características de la exposición, se prevé un procedimiento para la fabricación de un dentado de material sinterizado compactado, siendo compactada una preforma de diente previamente compactada en un intervalo mediante datos obtenidos iterativamente por lo menos en 0,05 mm en su superficie hasta su forma final, y se obtiene una calidad de la forma final por lo menos en un intervalo de por lo menos $f_{H\alpha} = 4$, $F_{\alpha} = 7$ y $F_{r\alpha} = 7$. Aquí significan $f_{H\alpha}$ la divergencia con respecto al dentado, F_{α} la divergencia total y $F_{r\alpha}$ la divergencia del perfil de los flancos. Los valores indicados corresponden a las clases DIN con respecto a la divergencia.

Según un perfeccionamiento está previsto que una iteración tenga en cuenta parámetros que afectan a un comportamiento de un material durante la compactación superficial de la forma de diente. Una estructuración prevé que una iteración para la determinación de una preforma parta de datos introducidos, que se toman en una especificación de la forma final. Preferentemente se utiliza por lo menos una herramienta de laminación, la cual presenta la misma calidad que la forma final creada más tarde. Mediante la determinación iterativa y mediante un mecanizado extremadamente preciso durante la compactación superficial se hace posible que la calidad de la herramienta pueda ser transmitida sobre la preforma. En especial la compactación superficial extremadamente precisa hace posible que el dentado, tras la compactación superficial, presente, sin paso de mecanizado posterior con 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 g/cm³ con una densidad superficial la cual es máxima en por lo menos una zona de un flanco de diente, extendiéndose la densidad superficial máxima en profundidad en el intervalo de por lo menos 0,02 µm.

Según otra idea de la invención, la cual se puede utilizar de forma independiente así como relacionada con las restantes características de la exposición, se propone un procedimiento para la fabricación de un dentado de material sinterizado compactado, compactándose una preforma de diente previamente compactada, por lo menos en una zona, mediante datos obtenidos iterativamente, hasta su forma final, y mejorándose una rugosidad en por lo menos un 400%, ajustándose una dureza superficial de por lo menos 130 HB. Preferentemente se ajusta una densidad del núcleo de la forma final la cual presenta una densidad de 7,3 g/cm³, y se aplica una dureza superficial la cual presenta un recorrido convexo desde la superficie hacia un centro de la forma final.

El dentado de material previamente compactado presenta, en una primera zona compactada superficialmente, una rugosidad que es por lo menos un 400% menor que la rugosidad en una segunda zona, la cual es menos compactada superficialmente o no lo está en absoluto. La rugosidad R_z es, por ejemplo en la primera zona, inferior a 1 µm. Otra estructuración prevé 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 mm con respecto a la superficie exista por lo menos una dureza de 500 HV [0,3]. Otra estructuración prevé una dureza superficial de por lo menos 700 HV [0,3] en la superficie del flanco de diente y en una base de diente, existiendo una dureza de por lo menos 500 HV [0,3] a una profundidad de 0,6 mm con respecto a la superficie en la base del diente y una dureza de por lo menos 500 HV [0,3] a una profundidad de 0,8 mm con respecto a la superficie en el flanco del diente. Mediante la creación de la compactación

superficial se hace posible poder ajustar selectivamente de manera precisa compactaciones así como durezas correspondientes a especificaciones deseadas.

5 Según otra idea de la invención, la cual se puede utilizar tanto de forma independiente como relacionada con las restantes características de la exposición, se propone un procedimiento de cálculo para el dimensionamiento de una preforma de un dentado de material sinterizado, entrando datos en el procedimiento de cálculo que se han determinado a partir de una forma final predeterminada del dentado, determinados 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 excesiva local de la preforma, que se correlaciona con una compactación esperada de la preforma en la superficie, 10 entrando en el cálculo una carga del material sinterizado por debajo de la superficie.

Preferentemente el cálculo adicionalmente se basa en una penetración de la herramienta en la pieza que hay que fabricar, pudiendo tenerse en cuenta en especial el comportamiento del material sinterizado durante la penetración y tras la penetración. Por ejemplo, el procedimiento de cálculo prevé que se tenga en cuenta una deformación elástica del material sinterizado que hay que compactar. El procedimiento de cálculo puede prever también que se tenga en cuenta una deformación elástico-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 en caso de una utilización de la pieza como rueda dentada transmisora de fuerza, El procedimiento de cálculo puede permitir que entre además una contracción del material sinterizado durante la sinterización. También pueden entrar 15 asimismo en el cálculo datos determinados de forma empírica. 20

Según otra idea de la invención, la cual se puede utilizar tanto de forma independiente como relacionada con las restantes características de la exposición, se propone un procedimiento de cálculo para el dimensionamiento de una herramienta para la compactación superficial de una preforma de un dentado hecho en especial de material sinterizado compactado para la elaboración de una geometría de diente predeterminada, entrando iterativamente 25 datos obtenidos de la geometría de diente predeterminada que hay que fabricar, para el cálculo de cinemáticas de máquinas herramienta teniendo en cuenta ejes de máquina asociados entre sí de una pieza, a partir de la cual se forma la herramienta que hay que fabricar y, por lo menos, de un conformador de herramienta, cuyas coordenadas de sistema acopladas y cuyo movimiento respectivo participan. Con ello existe la posibilidad de que, en lugar de que se encuentre finalmente una forma definitiva mediante intentos repetidos, resultados de medición y adaptaciones del conformador de herramienta, esto se pueda realizar mediante un cálculo iterativo. Esto permite ahorrar esencialmente mucho tiempo y hace posible tener en cuenta diferentes parámetros de influencia. En especial se hace posible también una simulación del dimensionamiento, de manera que por ejemplo se hace comprobable en la simulación una forma de actuar de la herramienta que hay que fabricar sobre una preforma concebida. 30 35

Según 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 en el cálculo al mismo tiempo también en la zona del pie del dentado una tensión máxima en la superficie. 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 40 cálculo. Este procedimiento es adecuado, en especial, para materiales sinterizados aunque también para piezas de acero o piezas de otros materiales.

Según otra idea de la invención, la cual se puede utilizar tanto de forma independiente como relacionada con las restantes características de la exposición, se propone una herramienta de matriz con una geometría de prensas para la fabricación de una preforma de un dentado de material sinterizado, presentando la geometría de prensas un recorrido, adaptada a una compactación superficial del dentado, con por lo menos una elevación, que genera por lo menos en la zona del dentado de la preforma una depresión, que se puede rellenar con material sinterizado durante la compactación superficial. 45

La elevación sobre 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 ó la profundidad de la depresión así como otras dimensiones de ellas. Otra estructuración prevé, en lugar de una elevación unilateral, que esté prevista una elevación por ambos lados, para dar lugar en ambos lados frontales del diente en cada caso a una depresión. La elevación está dispuesta, según un perfeccionamiento, en una zona de la geometría que da lugar, sobre una cabeza de diente de la preforma, a una depresión, que reduce por lo menos a la depresión formada, por lo menos parcialmente, un crecimiento de la cabeza de diente sobre la base de un mecanizado de la preforma en la forma final mediante compactación superficial. De esta manera se puede calcular, y en especial fabricar, por ejemplo, una preforma con por lo menos una depresión en un lado frontal de un dentado para la compensación de una expulsión de material durante una compactación superficial de una superficie de rodadura del dentado. 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 por lo menos reducir un crecimiento de la cabeza de diente en altura durante una compactación superficial de por lo menos los flancos del dentado. El procedimiento de cálculo para la determinación de una geometría de una preforma o de una herramienta de matriz prevé, preferentemente, que la geometría sea calculada partiendo de datos de una forma final de la preforma y por lo menos una depresión o elevación la cual da lugar, por lo menos, a una compensación de un desplazamiento de material durante la compactación superficial. 50 55 60 65

Según otra idea de la invención, la cual se puede utilizar tanto de forma independiente como relacionada con las restantes características de la exposición, se propone un procedimiento para la compactación superficial de un dentado, siendo calculado iterativamente el número de veces que un movimiento de compactación de una herramienta de moldeo debe repetirse para la compactación de una superficie en la preforma. Preferentemente se calcula iterativamente un arrollamiento hasta alcanzar una densidad superficial predeterminada. Un perfeccionamiento prevé que un avance de la herramienta de moldeo se calcule iterativamente. Según una estructuración tiene lugar menos de 20 veces un arrollamiento de la preforma para la consecución de la geometría predeterminada de una forma final de la compactación superficial. Preferentemente tiene lugar menos de 10 veces el arrollamiento. En especial se lleva a cabo menos de 6 veces un arrollamiento de la preforma, hasta que se consigue una geometría predeterminada de una forma final de la compactación superficial. Al mismo tiempo hay que tener en cuenta que al alcanzarse no tiene lugar todavía ninguna finalización de la compactación superficial. Más bien se continúa transportando a continuación varias veces, en especial menos de 25 veces, preferentemente menos de 15 veces, la herramienta sobre la superficie. Con ello se asegura una precisión de la forma de la superficie.

Según otra idea de la invención, la cual se puede utilizar tanto de forma independiente como relacionada con las restantes características de la exposición, se propone un procedimiento en el cual se lleva a cabo una rodadura que invierte la marcha en un dentado de material sinterizado, para compactar la preforma para dar la forma final de una compactación superficial. Preferentemente se lleva a cabo, antes de la inversión de la dirección, una breve descarga de la preforma mediante la herramienta de moldeo. Ha resultado que mediante la inversión de la marcha, esto significa mediante la inversión del movimiento, se puede conseguir una compactación homogeneizada. Además, se consigue minimizar aún más problemas durante la fabricación, gracias a que se redujo la presión de la herramienta sobre la pieza, antes de se tuviese lugar la inversión del movimiento. Al mismo tiempo la herramienta puede permanecer en contacto con la pieza. Sin embargo, se puede soltar también brevemente de la superficie.

Según otra idea de la invención, la cual se puede utilizar tanto de forma independiente como relacionada con las restantes características de la exposición, se propone un árbol con por lo menos un primer y un segundo dentado, siendo el primer dentado rodado a partir de material sinterizado y compactado superficialmente. A continuación se indican características con respecto al árbol o a los dentados. Aquí se pueden utilizar para otras estructuraciones, en especial también la otra exposición referida al dentado, los materiales, los pasos de fabricación, etc.

Según una estructuración el árbol presenta un segundo dentado, el cual está fabricado según otro procedimiento que el primer dentado. Esto permite un gran número de combinaciones, que prevén para cada caso de solicitud diferentes soluciones de material. El segundo dentado forma, según otra estructuración, una pieza con el primer dentado. Por ejemplo, pueden haber sido fabricados los dos dentados juntos en una prensa de muestras. Preferentemente están calculados el primer y segundo dentados de manera iterativa y han sido fabricados correspondientemente. Según una estructuración la fabricación puede tener lugar, consecutivamente, según otra estructuración, sin embargo, también de forma simultánea. En especial esto es válido también para otros pasos de mecanizado como, por ejemplo, una compactación superficial.

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

Además se ha demostrado como ventajoso que por lo menos el primer dentado presente, por lo menos en un diente, en cada caso diferentes pendientes de flanco a la misma altura del diente. Esto es ventajoso en aplicaciones en las cuales está predeterminada una dirección de giro principal y, en especial, únicamente una dirección de giro del árbol. Las diferentes pendientes de flanco se pueden concebir con ello de manera que reduzcan el desgaste y el ruido.

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

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

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

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

- 5 Según otra idea de la invención, la cual se puede utilizar tanto de forma independiente como relacionada con las restantes características de la exposición, se utiliza una preforma para la fabricación de un dentado a partir de material sinterizado, presentando la preforma una medida excesiva negativa. Preferentemente la medida excesiva negativa está dispuesta por lo menos en un flanco de un diente del dentado. En especial la medida excesiva negativa puede discurrir asimétricamente a lo largo del flanco.
- 10 Un perfeccionamiento prevé que sobre cada flanco de un diente esté prevista una sobremedida negativa. Por ejemplo, un diente presenta a la misma altura una sobremedida negativa sobre un primer flanco y presenta una segunda sobremedida sobre un segundo flanco, discurriendo el primer y el segundo flancos asimétricamente uno respecto del otro.
- 15 Preferentemente, la sobremedida negativa está dispuesta entre una zona de cabeza del diente y una medida excesiva sobre un flanco del diente. De manera adicional o alternativa la sobremedida negativa puede estar dispuesta en una zona de esquina del pie del diente. Existe además la posibilidad que una pendiente de flanco de los flancos de un diente sea distinta.
- 20 Además de un dentado exterior u otro tipo de dentado se realiza una compactación superficial también en el caso de un dentado, que sea un dentado interior. La preforma se convierte, finalmente, en una rueda dentada compactada superficialmente.
- 25 Un perfeccionamiento prevé un procedimiento para la fabricación de un dentado a partir de un material sinterizado, asignándose a una preformas por lo menos una medida excesiva negativa determinada mediante cálculo iterativo, la cual durante una compactación superficial del dentado es llenada, por lo menos en parte, mediante desplazamiento del material sinterizado. Preferentemente se desplaza un material de sobremedida contiguo a la medida excesiva negativa al interior de la medida negativa. La preforma puede ser compactada superficialmente en la forma final buscada, teniendo lugar de manera opcional un endurecimiento y/o un mecanizado superficial. Como mecanizado de precisión se considera tanto un bruñido como un amolado.
- 30 Preferentemente la estructuración de la sobremedida negativa tiene lugar mediante un cálculo iterativo, durante el cual una simulación de la compactación superficial en la preforma determina si la sobremedida contigua de su forma está dimensionada de tal manera que la sobremedida negativa pueda ser alisada para dar el contorno final buscado.
- 35 Para ello se proporciona una máquina para el cálculo y/o para la realización de una compactación superficial de un dentado, pudiendo introducirse una cinemática calculada, mediante la cual se pueda alisar, a través de una compactación superficial, una medida excesiva negativa sobre el flanco del dentado para dar el contorno final buscado.
- 40 Según otra idea de la invención, la cual se puede utilizar tanto de forma independiente como relacionada con las restantes características de la exposición, se propone un procedimiento para la fabricación de una compactación superficial en un dentado, recibiendo por lo menos dos preformas, simultáneamente, una compactación superficial en un dispositivo.
- 45 Según una estructuración las preformas son dispuestas sobre árboles dispuestos paralelamente y engranan, al mismo tiempo, con por lo menos una herramienta para la compactación superficial.
- 50 Según una segunda estructuración se disponen por lo menos dos preformas sobre un árbol común y se llevan a engranar 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 mecanizarse en el dispositivo simultáneamente por lo menos dos preformas para la compactación superficial.
- 55 Está previsto, por ejemplo, que esté previsto un movimiento de por lo menos un árbol, en el cual ambos volúmenes se engranan en una herramienta para la compactación superficial. Un perfeccionamiento prevé que por lo menos estén dispuestos paralelos entre sí 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 tres árboles hacia los otros dos árboles. Otra estructuración prevé que por lo menos se puedan disponer dos preformas sobre un árbol común, presentando la herramienta una longitud mayor que una longitud sumada de por lo menos las dos preformas. Preferentemente, las preformas pueden estar en contacto entre sí con sus superficies frontales. Otra estructuración prevé que entre las preformas esté dispuesta una distancia, sobresaliendo la herramienta, a lo largo del árbol, por encima de las superficies frontales exteriores de las preformas.
- 60
- 65 Según otra idea de la invención, la cual se puede utilizar tanto de forma independiente como relacionada con las restantes características de la exposición, se propone un componente con un dentado compactado superficialmente

hecho de material sinterizado, presentado el componente, visto en una sección transversal, un gradiente con respecto a los materiales sinterizados utilizados.

El componente presenta, preferentemente, un gradiente el cual presenta una función escalonada. Los materiales sinterizados están dotados, por lo menos en esta zona, con un límite de transición. Según una estructuración este límite de transición existe a lo largo de toda la superficie entre el primer y el segundo materiales sinterizados. Otra estructuración prevé que en una zona no exista un límite fijo sino una transición gradual. Puede estar previsto en especial que el componente presente diferentes materiales sinterizados, los cuales se extienden unos en otros, sin presentar una zona de mezcla marcada con gradientes ascendentes o descendentes.

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

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

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

Además se propone un procedimiento para la fabricación de un dentado compactado superficialmente en un componente, introduciéndose un primer material sinterizado en un molde, antes de que se añada en segundo material sinterizado, tiene lugar a continuación una compresión y una sinterización y, mediante una compactación superficial del dentado, se compacta únicamente uno de los dos materiales sinterizados, mientras que el otro material sinterizado no experimenta desplazamiento alguno.

Un perfeccionamiento prevé que se lleve a cabo una segunda compactación superficial, la cual afecta únicamente al material sinterizado todavía no compactado superficialmente. Está previsto, preferentemente, que el primer material sinterizado forme por lo menos una superficie de los dientes de dentado y el segundo material forme el relleno inferior del dentado.

Otro 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 sea añadido un segundo material sinterizado, llevar a cabo a continuación una compresión y sinterización y, mediante una compactación superficial del dentado, compactar el primer y segundo material sinterizado.

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 una matriz, y un material sinterizado que hay que introducir actúe un giro relativo, de manera que el material sinterizado se acumule, dependiendo de la velocidad del giro relativo, en una zona exterior del molde.

Por lo demás, puede estar previsto también que el primer material sinterizado y, por lo menos, el segundo sean añadidos al molde, por lo menos durante un espacio de tiempo, solapándose.

Además se remite 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 pasos de procedimiento. A este respecto se remite, en el marco de la explicación, al contenido de esta exposición, que pertenece al contenido de la exposición de esta invención.

Según otra idea de la invención se propone que, en especial en el caso de una rueda dentada forjada, rueda para cadenas o corona dentada, se prevea en el procedimiento de fabricación, además del paso de compactación superficial del dentado, también un amolado o un bruñido de los flancos de diente compactados o de los pies de diente. 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 a una precisión de la forma del dentado. Un perfeccionamiento prevé que para un paso de mecanizado con retirada de material haya, tras la compactación superficial, una medida excesiva para este paso en un intervalo de $4 \mu\text{m}$ a $8 \mu\text{m}$ de material por encima de la medida final. Si en lugar de un forjado se lleva a cabo un prensado, sinterizado o endurecido, en especial cementación, se proporcionan para un bruñido preferentemente $30 \mu\text{m}$ a $50 \mu\text{m}$ y para un amolado $50 \mu\text{m}$ a $0,3 \text{ mm}$, preferentemente $0,1 \text{ mm}$ a $0,2 \text{ mm}$ de medida excesiva tras la compactación superficial. Mediante el cálculo iterativo se hace posible poder determinar los intervalos y sobremedidas con anterioridad y poder traducirlas

después en el procedimiento de este modo. Para un taladro en la rueda dentada, rueda de cadena o corona dentada se prevé asimismo, preferentemente, una compactación superficial, seguida de un endurecimiento y preferentemente un bruñido posterior. El taladro puede disponer para ello asimismo, tras la compactación superficial, todavía de una sobremedida comprendida entre 30 μm y 50 μm .

5 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 durante una laminación en caliente, por ejemplo a temperaturas superiores a los 220°C. Además, se propone llevar a cabo la laminación en caliente a una temperatura comprendida entre 500°C y 600°C, utilizándose preferentemente una refrigeración de aceite para, por un lado, lubricar y, por el otro, refrigerar también la herramienta.

10 A continuación se explica la invención, a título de ejemplo, en detalle sobre la base del dibujo. Estas estructuraciones representadas no deben concebirse, sin embargo, de forma limitante para la extensión y con respecto a detalles de la invención. Más bien estas características se pueden combinar con en cada caso otras características, indicadas en el dibujo y/o en la descripción incluida la descripción de las figuras, para dar en cada caso perfeccionamientos no representados con mayor detalle.

En las figuras:

20 la figura 1 muestra una disposición de rodadura,

la figura 2 muestra un primer diente,

25 la figura 3 muestra un segundo diente,

la figura 4 muestra un tercer diente,

las figuras 5 a 7 muestran diferentes distribuciones de medida excesiva de diferentes elementos de dentado,

30 la figura 8 muestra un primer esquema del procedimiento,

la figura 9 muestra un segundo esquema del procedimiento,

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

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

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

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

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

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

50 la figura 16 muestra una distribución de la dureza en HV sobre un flanco de un dentado en diferentes pasos de compactación superficial,

la figura 17 muestra una distribución de la dureza en HV en una zona del pie de un dentado en diferentes pasos de compactación superficial,

55 la figura 18 muestra una vista esquemática de diferentes distribuciones de sobremedida calculadas para diferentes densidades,

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

60 La figura 1 muestra, en vista esquemática, una disposición de rodadura a título de ejemplo. Una primera herramienta de laminación 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 se encuentra en engrane con un segundo dentado 105 de una forma previa 106. La forma previa 106 está apoyada con posibilidad de giro alrededor de un segundo eje 107. Correspondientemente resulta una segunda dirección de rotación 108. Además, el segundo dentado 105 se encuentra en engrane con un tercer dentado 109 de una segunda herramienta de laminación 110. Esta segunda

herramienta de laminación 110 está apoyada con posibilidad de giro alrededor de un tercer eje 111 en una tercera dirección de rotación 112. Por ejemplo, el primer eje 103 o el segundo eje 107 pueden ser ejes fijos, mientras que los otros dos ejes pueden llevar a cabo un 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 del primer 103, del segundo 107 y del tercer 111 eje. Por ejemplo, se puede llevar a cabo un proceso de laminación calibrado. Al mismo tiempo se compactan solo ligeramente en especial flancos de dientes y en especial no se compactan las bases de los dientes. Al mismo tiempo se produce una compactación superficial en una zona deseada. Durante una compactación superficial se puede, por otro lado, compactar superficialmente únicamente o también de manera adicional la base del diente. Por ejemplo, tiene lugar para ello, durante un proceso de laminación, un desplazamiento que avanza en la dirección de la dirección de desplazamiento 113. En especial se compacta, mediante la primera y la segunda herramientas de laminación 101, 110, también una zona de los pies de diente de la forma previa 106. Para el ajuste de la primera y/o de la segunda herramienta de laminación 110 así como para la aplicación de una presión necesaria para un proceso de laminación está previsto un dispositivo de ajuste, no representado, preferentemente con un engranaje. Mediante él se pueden aplicar en especial también presiones muy elevadas.

La figura 2 muestra un primer diente 201 de un elemento de dentado correspondiente no representado. En el caso de este elemento de dentado se trata de una rueda dentada. Una geometría del elemento de dentado o del primer diente 201 está caracterizada al mismo tiempo mediante una primera circunferencia interior 202, un primer círculo de utilización interior 203 y un primer círculo evolvente 204 y una primera circunferencia exterior 205. En un primer flanco 206 el primer diente 201 presenta, antes de un proceso de laminación, una primera distribución sobremedida 207. Tras un proceso de laminación finalizado resulta una primera distribución de medida final 208, resultando correspondientemente una primera capa de borde 209 compactada. Representado de manera esquemática, ésta está limitada por una primera líneas de límite de compactación 210. Esta línea delimita la zona del primer diente 201, dentro de la cual se alcanza la totalidad de la densidad. La totalidad de la densidad está referida al mismo tiempo preferentemente a una densidad de un diente forjado con polvo comparable.

La figura 3 muestra un segundo diente 301 de un elemento de dentado no mostrado. 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 una segunda circunferencia exterior 302, una segunda circunferencia de laminación 303, una segunda circunferencia interior útil 304 y una segunda circunferencia interior 305. Para la consecución de un recorrido de compactación idéntico en un segundo flanco 306 y en un tercer flanco 307 están previstos una segunda distribución sobremedida 308 y una tercera distribución sobremedida 309. Tras un proceso de laminación resulta, sobre el segundo flanco 306, una segunda distribución de medida final 310 y, sobre el tercer flanco 307, una tercera distribución de medida final 311. Además, resulta una segunda línea de límite de compactación 312 y una tercera línea de límite de compactación 313. A causa de las fuerzas diferentes, debidas al movimiento de laminación en un sentido de rotación, en el segundo flanco 306 y en el tercer flanco 307 la segunda distribución de medida excesiva 308 y la tercera distribución de medida excesiva 309 están estructuradas de forma diferente. La acción diferente de fuerzas en los flancos de diente 306, 307 durante un proceso de rodadura se ilustra mediante las direcciones de velocidad de deslizamiento representadas. En el segundo flanco 306 resultan una primera 314 y una segunda 315 dirección de velocidad de deslizamiento. Estas están orientadas, partiendo de un segundo círculo evolvente 303, en la dirección de la segunda circunferencia exterior 302 o en dirección de la segunda circunferencia interior 305. En el tercer flanco 307, por el contrario, resulta una tercera dirección de velocidad de deslizamiento 316 y una cuarta dirección de velocidad de deslizamiento 317, las cuales están orientadas una contra otra.

La figura 4 muestra un tercer diente 401 de un elemento de dentado no representado. En el caso de este elemento de dentado se trata asimismo de una rueda dentada. La rueda dentada y el tercer diente 401 están caracterizados de nuevo mediante una tercera circunferencia exterior 402, una circunferencia exterior útil 403, una tercera circunferencia de laminación 404, una tercera circunferencia interior útil 405 así como una tercera circunferencia interior 406. En el caso del tercer diente 401 mostrado se trata de un dentado con un destalonado exterior, preferentemente en forma de un redondeamiento exterior. En esta zona son posibles sin embargo también otras geometrías. Al mismo tiempo se ha reducido en una zona de cabeza de diente 401.1, entre la tercera circunferencia exterior 402 y la circunferencia exterior útil 403, un perfil de diente. Esto conduce a que en esta zona el diente no engrane con un contradentado evolvente. En este caso está situado una zona de diente activa únicamente en la zona situada entre la circunferencia superior útil 403 y la circunferencia interior útil 405 o entre la circunferencia exterior útil 403 y la tercera circunferencia interior 406. Una cuarta distribución sobremedida 407 da como resultado, tras un proceso de laminación, en una cuarta línea de límite de compactación 408. Por lo demás se consigue sobre el cuarto flanco 409 una cuarta distribución de medida final 410.

La figura 5 muestra una distribución de medida excesiva entre dos dientes contiguos de un elemento de dentado no representado. En el caso de este elemento de dentado se trata de nuevo de una rueda dentada. La rueda dentada y los dientes están caracterizados por una cuarta circunferencia interior 502, una cuarta circunferencia interior útil 503 de la preforma, una quinta circunferencia interior útil 504 de la preforma tras un proceso de amolado, una cuarta circunferencia exterior 505 tras un proceso de fresado y una quinta circunferencia exterior 506 tras un proceso de Finishing. Tras un proceso de laminación resulta una quinta distribución de medida final 507. Sobre el eje de abscisas está indicada una dimensión lateral en milímetros. Sobre el eje de ordenadas está indicada la dimensión lateral, orientada perpendicularmente. El dentado discurre al mismo tiempo por completo en el plano del dibujo.

La figura 6 muestra una composición de otras distribuciones de medida excesiva. Sobre el eje de abscisas está representada la longitud de suelo nominal a lo largo de una línea de flanco de un elemento de dentado. Esta línea de arco se refiere al mismo tiempo en cada caso a un recorrido desde una cabeza de diente de un primer diente hacia una cabeza de diente de un diente contiguo. Sobre el eje de abscisas superior está representada, correspondientemente, la longitud de arco absoluta de la línea de flanco correspondiente en milímetros. El eje de ordenadas izquierdo indica una medida excesiva en milímetros. El eje de ordenadas derecho describe el radio correspondiente del dentado correspondiente. Esta representado una sexta distribución de medida excesiva 601, una séptima distribución de medida excesiva 602 y una octava distribución de medida excesiva 603. Por lo demás está representado un radio 604 correspondiente del dentado correspondiente. La sexta distribución de medida excesiva 601 y la octava distribución de medida excesiva 603 están realizadas al mismo tiempo simétricas con respecto a una línea de simetría de base del diente 605. El séptimo recorrido de medida excesiva 607 está estructurado, por el contrario, de forma asimétrica. En las proximidades de la línea fundamental de simetría del diente 605, es decir en la zona de la base del diente, las medidas excesivas presentan en cada caso un mínimo local. Con ello se favorece una reducción de un riesgo de fisura de esfuerzo.

La figura 7 muestra otra distribución de medida excesiva. Se muestra, en una novena distribución de medida excesiva, que discurre asimétricamente desde una cabeza de diente 702 izquierda hacia una cabeza de diente 703 derecha. Como se ha mostrado ya en la figura 6, aquí una medida excesiva en la zona de una base del diente 704 es más pequeña que en la zona del quinto 705 y el sexto 706 flanco. Esto sirve, en especial, para una evitación de fisuras de esfuerzo.

La figura 8 muestra un primer esquema del procedimiento. Partiendo de una especificación del objetivo 801, que comprende la geometría, un momento de giro que hay que transmitir de una rueda dentada y una distribución de la presión, se genera, con un primer módulo de generación de geometría 802, una geometría de una herramienta de laminación. Al mismo tiempo se genera, tanto sobre la base de la especificación del objetivo 801 como también sobre la base de la geometría de la herramienta de laminación, una geometría de una preforma en un segundo módulo de generación de geometría 803. En un primer módulo de simulación 804 se simula el proceso de rodadura. Al mismo tiempo se simula tanto una cinemática del proceso de rodadura como también un proceso de compactación, el cual es provocado durante el proceso de rodadura. Al mismo tiempo se tiene en cuenta en especial una redistribución de material, como está bosquejada por ejemplo en la figura 3. La simulación de una deformación plástica tiene lugar, al mismo tiempo, mediante un método de elementos finitos. Este puede estar acoplado con un programa CAD. De manera opcional se puede tener en consideración un segundo módulo de simulación 805 para la simulación de una deformación. En este módulo entra tanto, por un lado, la especificación del objetivo 801 como también la geometría de la preforma. El segundo módulo de simulación 805 hace posible, por otro lado, una corrección de la geometría determinada de la preforma. En especial se pueden realizar de forma repetida 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 en un ciclo de optimización.

La figura 9 muestra un segundo esquema del procedimiento. En una primera etapa 901, se genera una novena distribución de medida excesiva 902 de un perfil de diente 903. A continuación se genera, en una segunda etapa 904, un segundo perfil de diente 905 de una tercera herramienta de laminación 906. Conectado a ello se simula, en una tercera etapa 907, un proceso de laminación. Al mismo tiempo se simula el proceso de rodadura del primer perfil de diente 903 sobre el segundo perfil de diente de la herramienta de laminación 905 y la compactación resultante de él. A continuación se repiten la primera, segunda y tercera etapa 901, 904, 907 asimismo en una variación 908.

La figura 10 muestra una distribución de medida excesiva de un elemento de dentado de una herramienta de laminación. Esta representado una décima distribución de medida excesiva 1001 de un quinto diente 1002 de una herramienta de laminación no representada. En un séptimo flanco 1003 y en un octavo flanco 1004 del quinto diente 1002 está prevista una medida excesiva diferente. En el séptimo flanco 1003 está previsto un exceso de material, la cual está indicada mediante una primera flecha 1005. Por el contrario está previsto sobre el octavo flanco 1004 un destalonado de diente, el cual está indicado mediante la segunda flecha 1008. La medida excesiva está referida en este ejemplo a un perfil regular de un dentado evolvente. A causa de las estructuraciones asimétricas de los dos flancos de diente 1003, 1004 se tiene en cuenta en especial una carga asimétrica del material de un elemento de dentado que hay que compactar con ello. Se puede conseguir también, con respecto a la forma final de la pieza, un perfil simétrico de ambos flancos de un diente mediante esta herramienta de laminación, para lo cual hay que llevar a cabo compensaciones en la zona que sean preferentemente menores de 0,1 μm .

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

La figura 12 muestra una vista esquemática de casos extremos calculados de herramientas para la compactación

superficial, que son calculables. El punto de partida del cálculo es la geometría final izquierda del dentado. Gracias a tener en cuenta de las condiciones de rodadura, del parámetro de medida excesiva y de otros factores de influencia se pueden determinar de forma iterativa las formas de herramientas representadas en el centro y a la derecha de él.

5 La figura 13 es una vista esquemática de un proceder durante un cálculo iterativo y 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 máquinas asignados unos a otros. A través de las cinemáticas y las conexiones funcionales se puede llevar a cabo, acto seguido, mediante los grados de libertad existentes, una optimización de la herramienta que hay que concebir. En este caso, se remite de nuevo a la figura 10 12. Los ejemplos allí representados presentan desventajas correspondientes, por ejemplo una región del pie muy débil en una representación central o una estructuración de cabeza muy puntiaguda en la representación derecha. Mediante parámetros de influencia adicionales tales como, por ejemplo, consideraciones acerca de la resistencia y/o distribuciones de la tensión en el material se puede llevar a cabo acto seguido una iteración para un contorno adecuado para el perfil de exigencia correspondiente. Para la herramienta para la fabricación de la preforma se toma 15 como punto de partida, por ejemplo, la geometría final determinada con las medidas excesivas calculadas.

La figura 14 muestra una vista de recorridos de densidad dependiendo de las diferentes densidades de partida de las preformas utilizadas. Si la densidad de la preformas es modificada en su núcleo así como también en el recorrido hacia fuera, resultan influencias referidas al recorrido de compactación superficial. Esto se deduce de la ilustración 20 derecha de la figura 14. Mediante variaciones de la preforma correspondiente se puede influir fuertemente asimismo sobre el recorrido de densidad tras una compactación superficial. Por ello representan la densidad del núcleo de partida así como también la forma de la preforma parámetros importantes durante la iteración y el cálculo.

La figura 15 ofrece una vista general, a título de ejemplo, referida a los defectos determinados, que aparecen en diferentes pasos de compactación superficial, y que caracterizan simultáneamente el comportamiento del material. El defecto se clasifica en clases de defectos según DIN 3972 o DIN 3970. Un punto importante para la determinación de una compactación superficial adecuada mediante rodadura es la modificación del perfil de la herramienta desarrolladora. Mediante la utilización del procedimiento de cálculo indicado más arriba para la preforma y la herramienta de laminación es posible, sobre la base de los resultados obtenidos, modificar la herramienta de laminación. Esto se representa en la figura 15 en una preforma con una densidad del núcleo de $7,3 \text{ g/cm}^3$, que fueron modificados en cuanto al estado y superficialmente en engrane con un juego no modificado de herramientas de laminación. La geometría de la rueda dentada varía dependiendo de un movimiento de avance de la herramienta de laminación. El objetivo es alcanzar el contorno final buscado, como se ha predeterminado. De las ilustraciones de la figura 15 se pueden desprender diferentes estados para movimientos de avance de diferente extensión. A título de 35 ejemplo están representados a la izquierda de los defectos de ángulo de perfil, en el centro el defecto de forma de perfil completo y a la derecha el defecto de forma. Estos fueron medidos en la rueda dentada fabricado en cada caso. De este modo conduce, por ejemplo, una reducción de grosor de diente de $0,27 \text{ mm}$ a una desviación de ángulo de perfil correspondiente a la clase 7 según DIN. Con el fin de conseguir una forma final necesaria de la reducción de grosor de dientes necesario sin embargo un avance de $0,4 \text{ mm}$. Esto conduce, sin embargo, a un aumento de los defectos correspondientes. Esto significa que el contorno final fabricado pasa a situarse en los otros valores fuera de las clases de calidad necesarias. Por ello se hace necesaria una variación de la geometría de la herramienta. Teniendo en cuenta los valores detectados como valores de entrada se puede determinar, acto seguido, una nueva herramienta, llevar a cabo de nuevo los ensayos y, de esta manera, determinar de forma iterativa una geometría optimizada para la herramienta. Mediante el cálculo se hace posible poder determinar, 45 mediante por ejemplo dos o también una iteración, un contorno definitivo para la herramienta.

La figura 16 muestra una distribución de la dureza en HV aplicada sobre un flanco de un dentado a lo largo de la distancia desde la superficie sobre el eje x [mm]. En diferentes pasos de compactación superficial se puede influir, mediante elección adecuada de medida excesiva así como del movimiento de avance, la distribución del perfil de la dureza. Por ejemplo, la distribución puede ser, por lo menos parcialmente, convexo o también cóncavo. Como se haga indicado, la preforma designada mediante AVA7-1 tuvo una medida excesiva mayor que la preforma designada mediante AVA4-2. Ambas presentan un recorrido de durezas opuesto: mientras que en la primera parte hasta que se alcanza 550 HV AVA7-1 presenta una forma más bien convexa, AVA4-2 tiene un recorrido más bien cóncavo. Esto varía al pasar por debajo de 550 HV . 55

La figura 17 muestra una distribución de la dureza en HV en una zona interior de un dentado durante diferentes etapas de compactación superficial. A causa de la medida excesiva allí más pequeña en comparación con la medida excesiva de flanco así como a causa de la geometría resulta otra distribución de la dureza. La dureza cae al principio de firma más empinada, se transforma entonces sin embargo aproximadamente en una distribución recta con una inclinación ya únicamente pequeña. 60

La figura 18 muestra una vista esquemática de diferentes distribuciones de sobremedida calculados para diferentes densidades sobre la base de un grosor de diente final. Sobre el eje y está trazado el diámetro. Sobre el eje x se indica la medida excesiva. D_a o d_a indica el diámetro de circunferencia exterior útil o el diámetro de circunferencia exterior, 0 es la especificación de una sobremedida, por ejemplo mediante un valor en el cálculo de referencia, d_b es el diámetro del círculo de base. A indica una zona de valores preferidos para la zona de circunferencia de 65

laminación. B reproduce una zona crítica, ya que allí puede aparecer ya fallo de material durante la laminación.

5 La figura 19 muestra una representación esquemática de parámetros, que pueden entrar en un cálculo iterativo. Estos pueden ser, en especial, lugares de sollicitación máxima. Como está representado en la foto izquierda, pueden aparecer sobre los flancos daños de picadura. Por ello se utiliza, preferentemente, un recorrido tensión de comparación, en el cual se cumple que: aparece una tensión máxima por debajo de la superficie, en especial en la zona de un negativo, por ello preferentemente por debajo del diámetro de circunferencia de rodadura indicado d_{w1} . La foto derecha indica una rotura de diente a causa de una carga de flexión excesiva. De ello se sigue, para el modelo de cálculo, que se determina y se tiene en cuenta un lugar de la máxima sollicitación de pie de diente. Éste 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.

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

20 La invención se puede utilizar, por ejemplo, en ruedas dentadas de árboles de levas, ruedas dentadas planetarias, ruedas dentadas satélites, en ruedas dentadas de accionamiento, en ruedas dentadas de compensación, en ruedas dentadas de engranaje, en ruedas dentadas de acoplamiento, en ruedas dentadas de bomba, en ruedas dentadas de dientes rectos, en ruedas dentadas de dientes oblicuos, en motores eléctricos, en máquinas de combustión internas, en engranajes de ajuste, en dentados interior o exteriores con de dientes rectos u oblicuos, en engranajes cónicos con dentados recto, oblicuo o espiral, en engranajes de tornillo sin fin o engranajes helicoidales así como en conexiones de buje árbol de rosca de paso empinado o de rosca de paso empinado. Otra estructuración prevé una rueda dentada de metal sinterizado. Lo restante puede ser, por ejemplo, de plástico o de otro material. Además, existe la posibilidad que por lo menos una de las dos ruedas dentadas presente un revestimiento, la cual actúan en especial minimizando el ruido. Preferentemente se puede elaborar un par de ruedas hipoides, para formar con ello un engranaje hipoide. Las piezas con dentado se pueden utilizar en especial en la técnica del automóvil, en la técnica de motores, en la técnica de engranajes, en dispositivos de ajuste, en dispositivos de transmisión de fuerza, en juguetes, en dispositivos de mecánica de precisión, en aparatos domésticos, en especial en aparatos domésticos móviles, y otros.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Compactación superficial de una pieza con por lo menos un dentado realizado a partir de material sinterizado, siendo compactada una primera superficie de la pieza, es decir un dentado interior de la pieza, con un procedimiento distinto al utilizado en una segunda superficie de la pieza, es decir un dentado exterior de la pieza, que es compactada superficialmente mediante un procedimiento de laminación.
- 10 2. Compactación superficial según la reivindicación anterior, caracterizada porque un taladro en la pieza obtiene una superficie endurecida tras una densificación superficial y a continuación es llevada a una forma final.
3. Compactación superficial según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque después de un endurecimiento del dentado tiene lugar una compactación superficial.

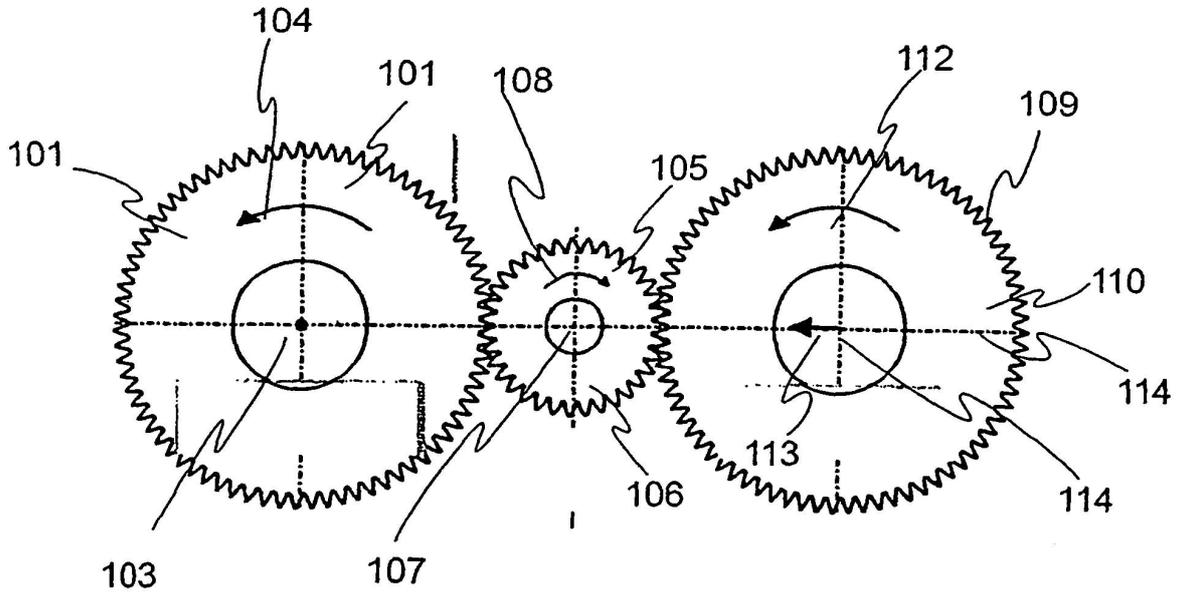


Fig. 1

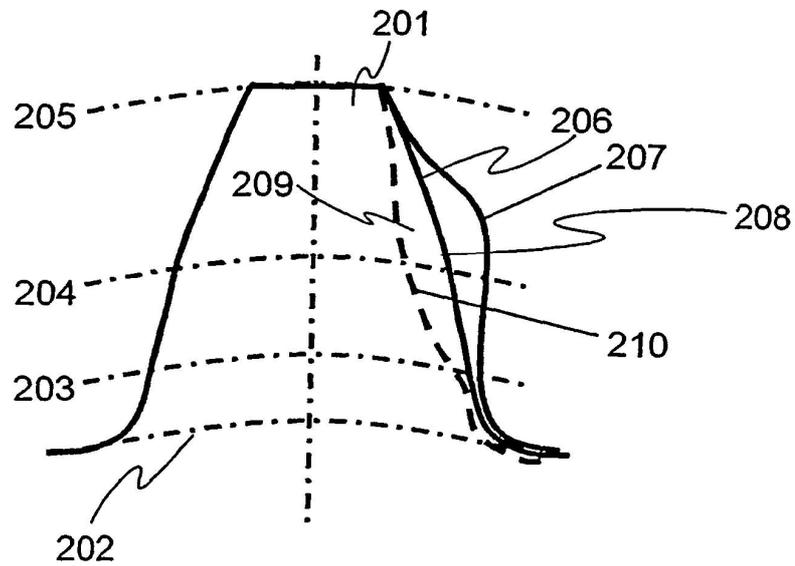


Fig. 2

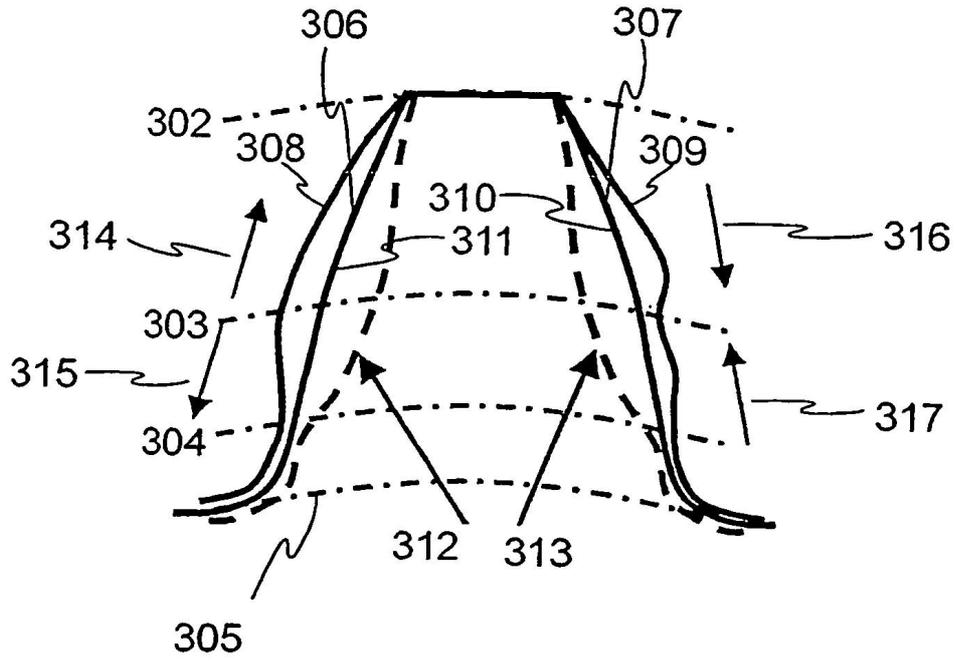


Fig. 3

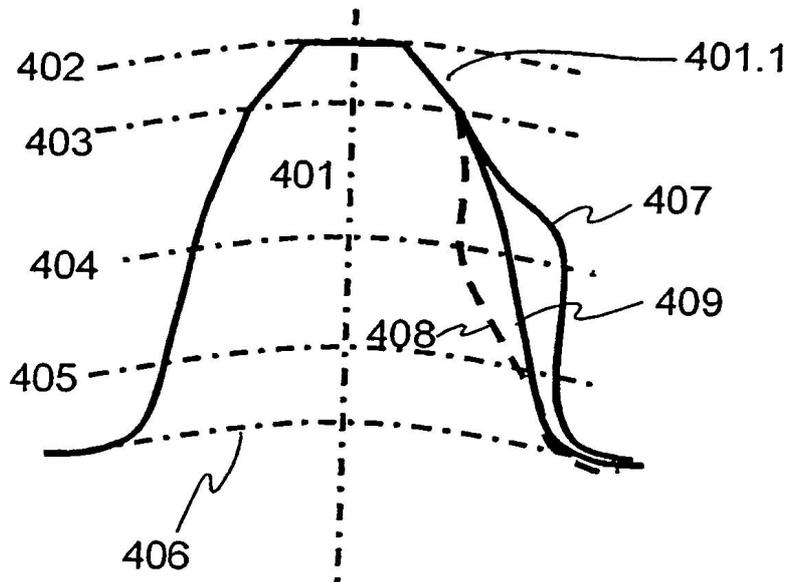


Fig. 4

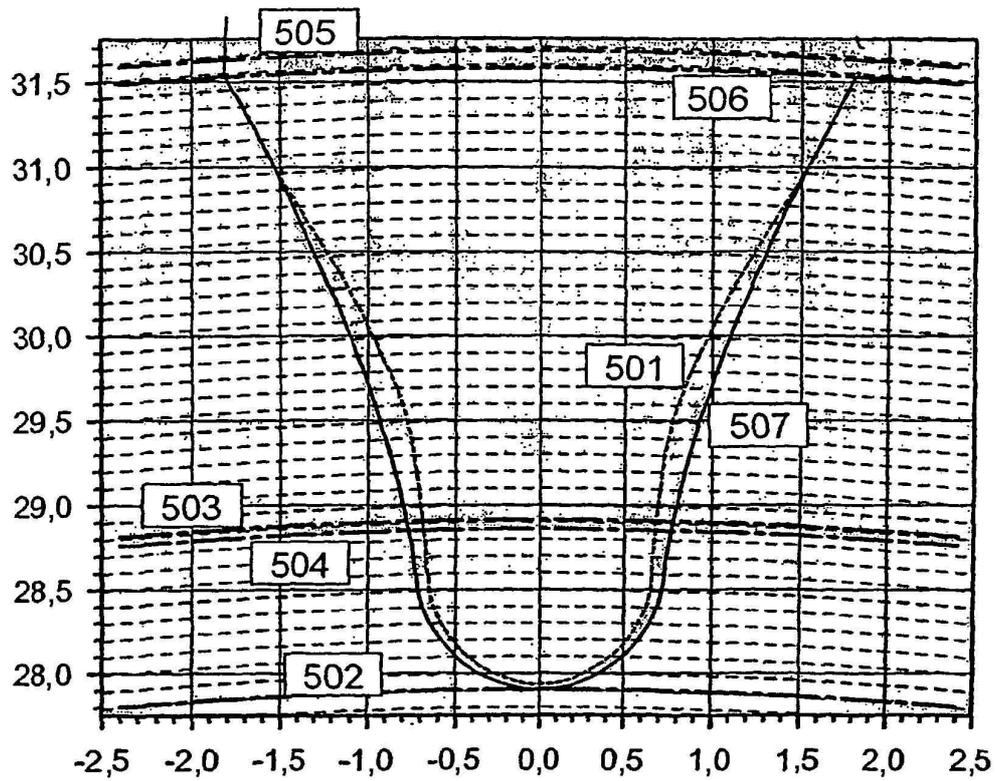


Fig. 5

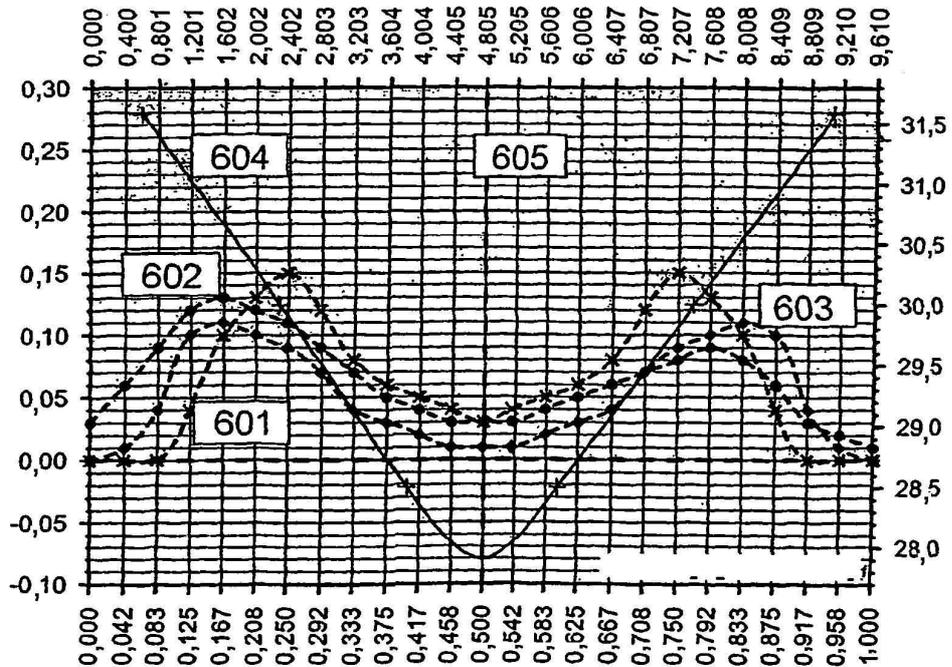


Fig. 6

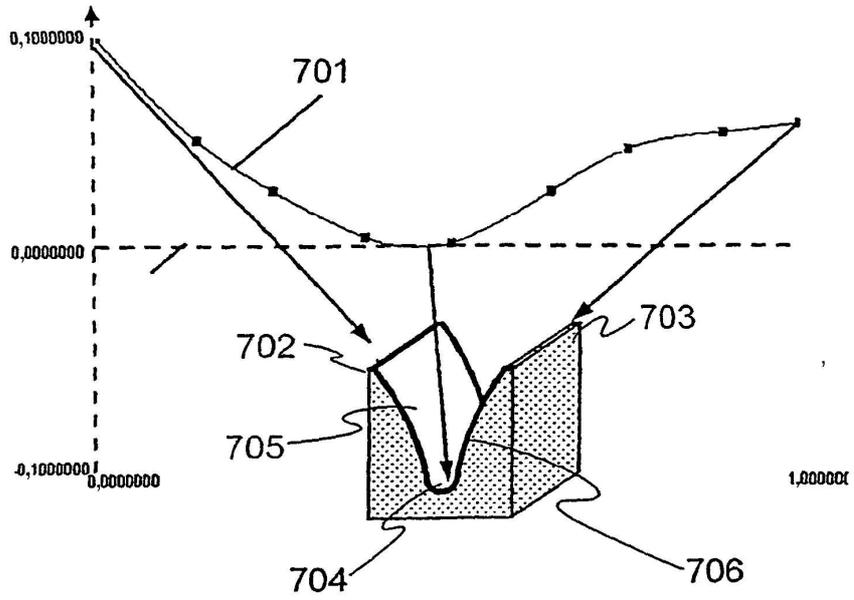


Fig. 7

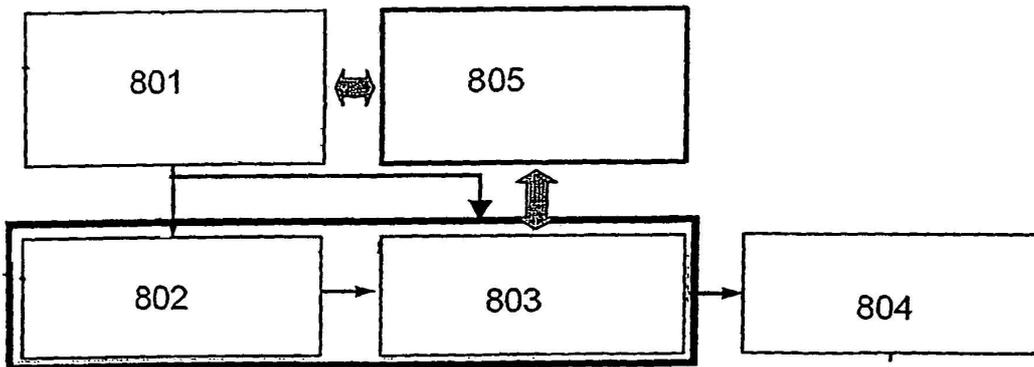


Fig. 8

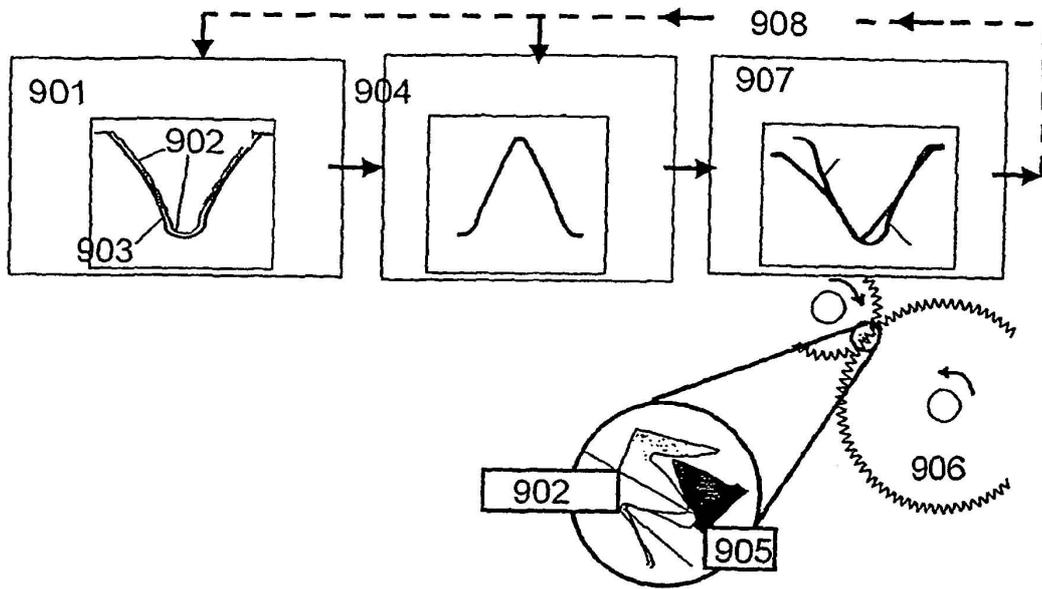


Fig. 9

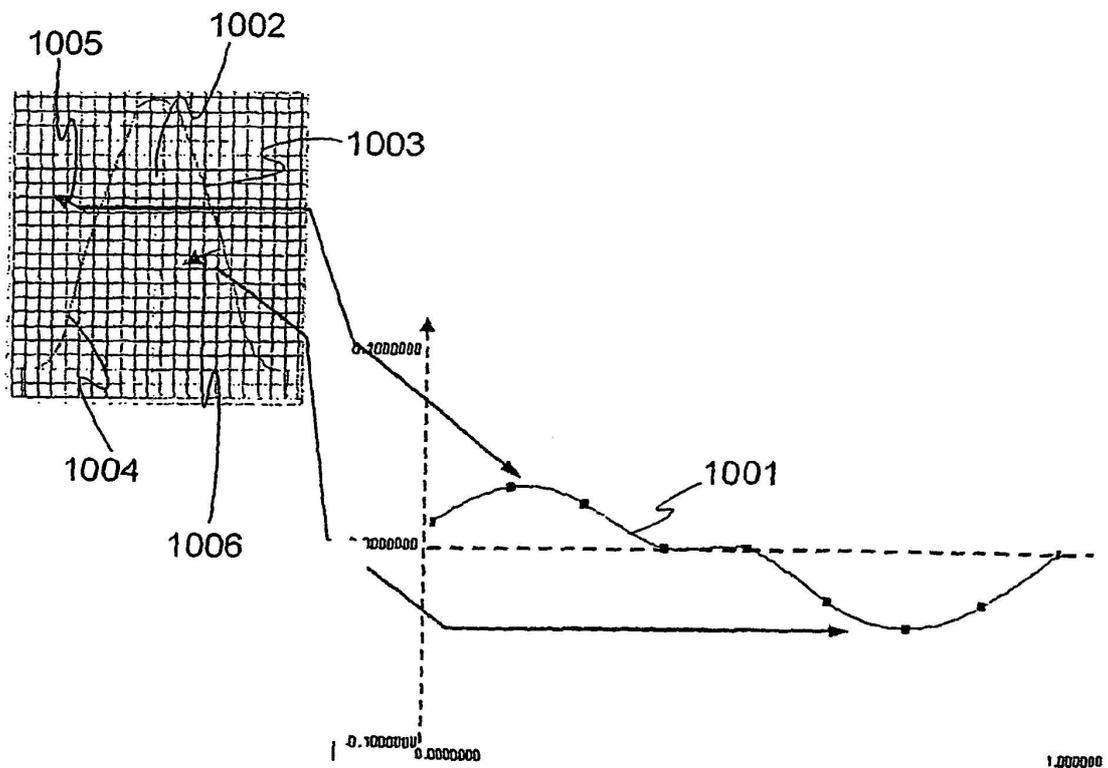


Fig. 10

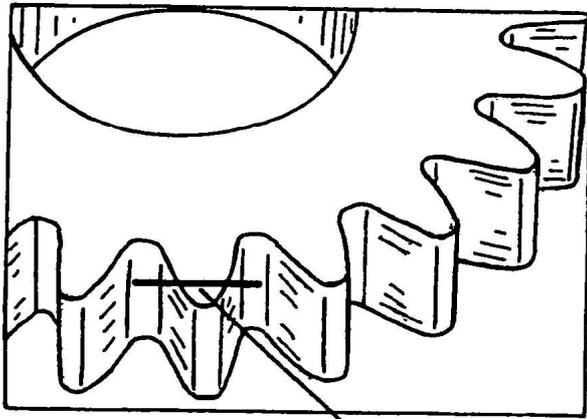


Fig.11



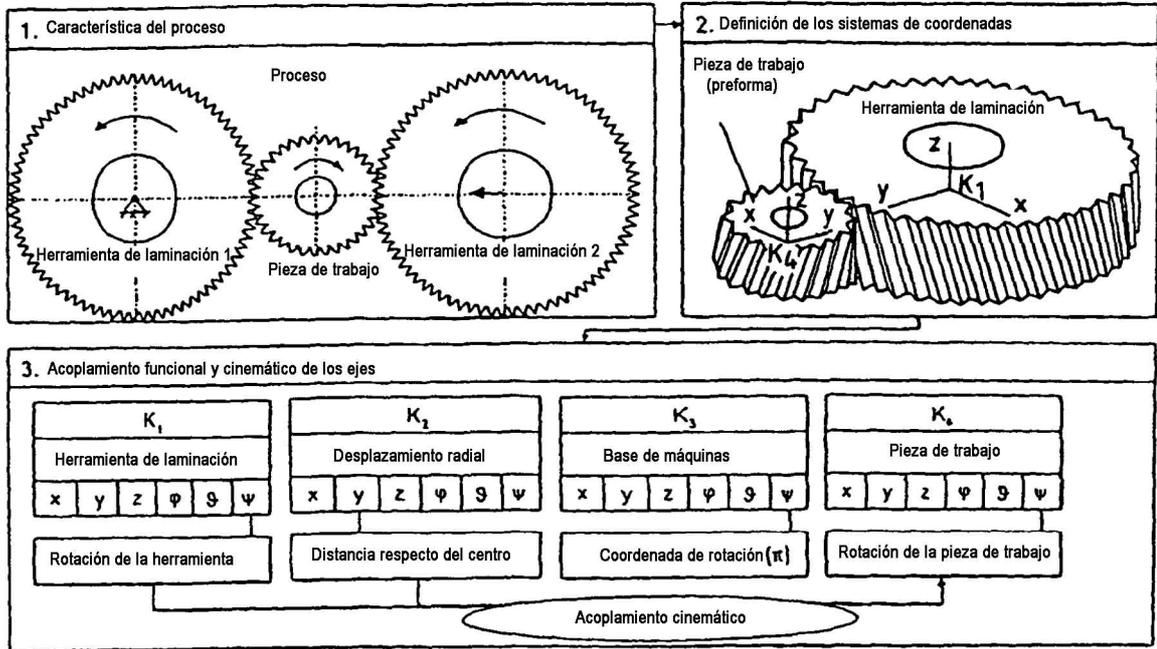


Fig.13

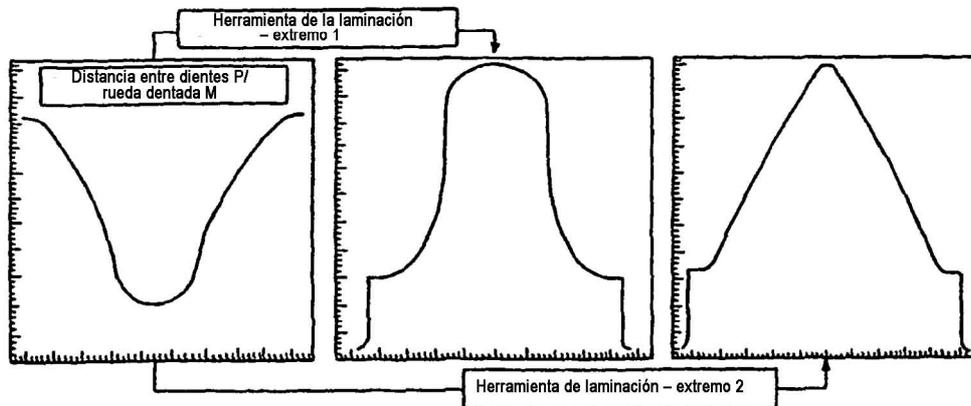


Fig.12

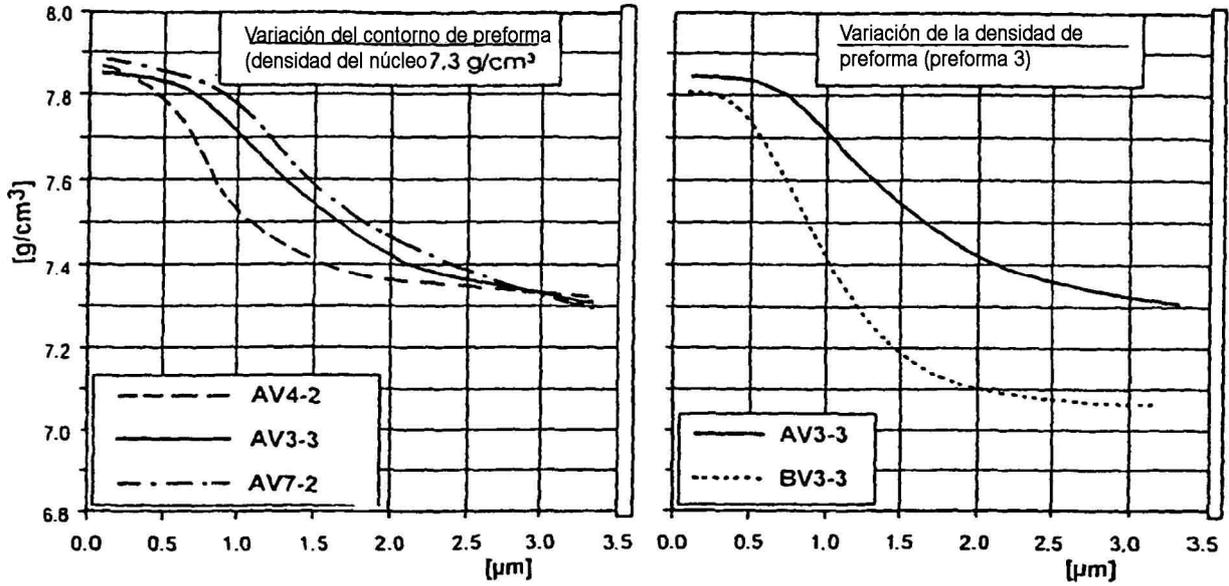


Fig.14

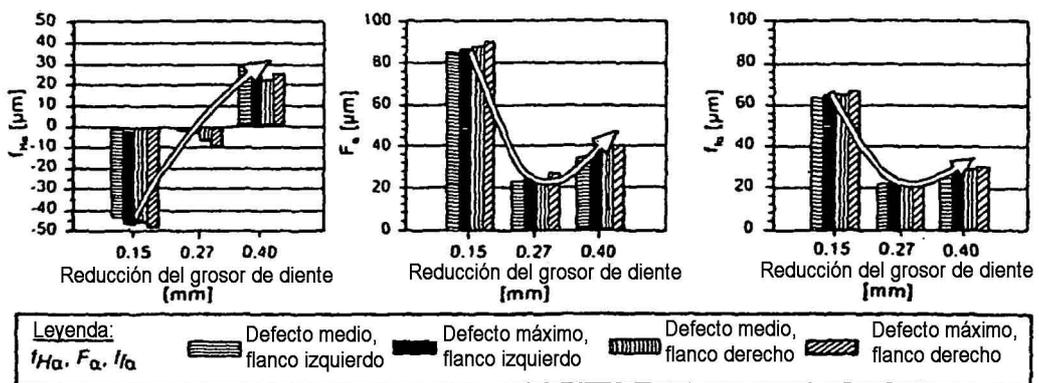


Fig.15

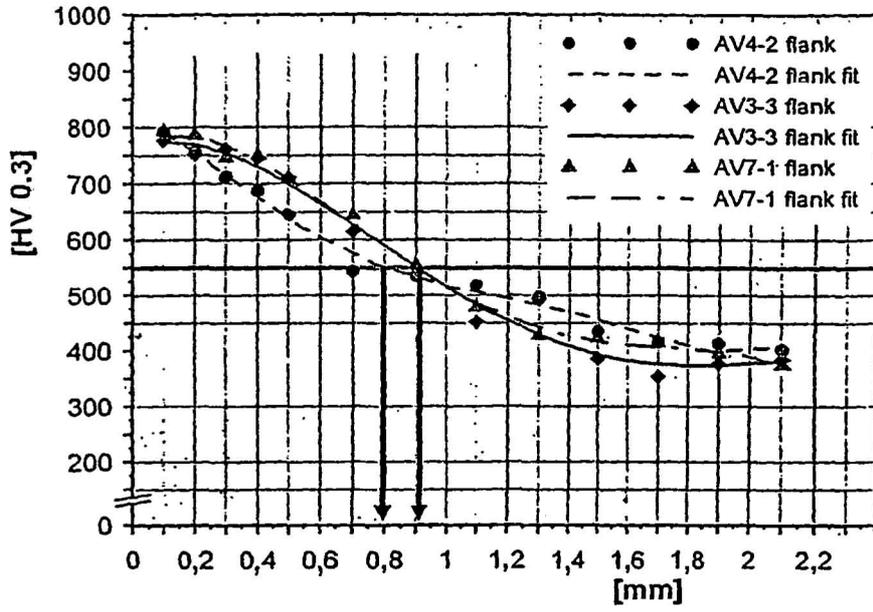


Fig. 16

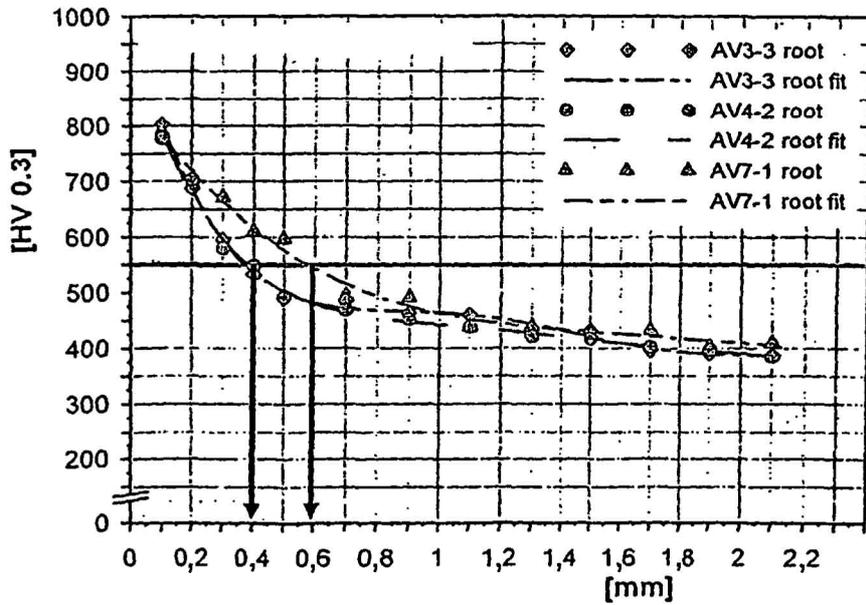


Fig. 17

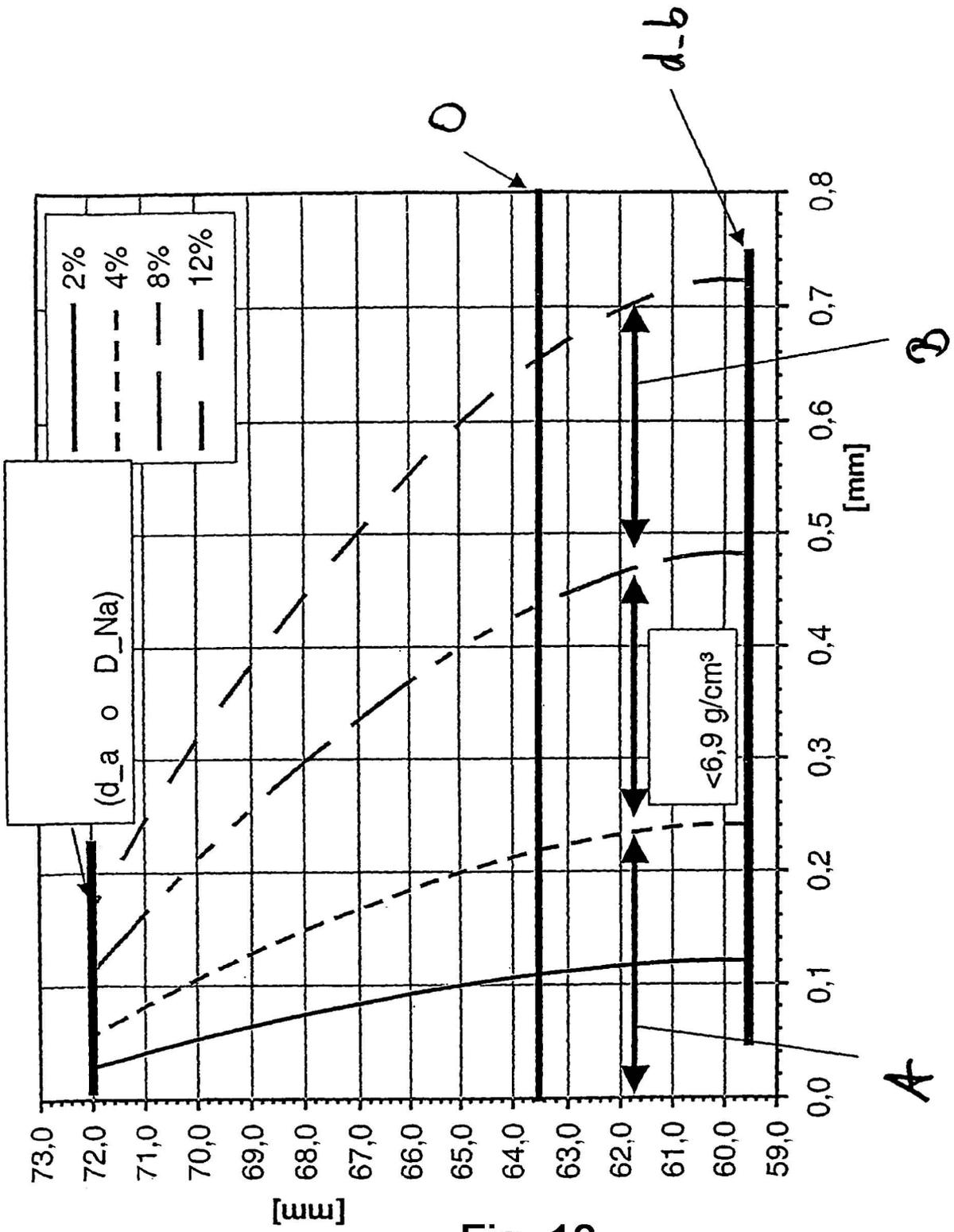


Fig. 18

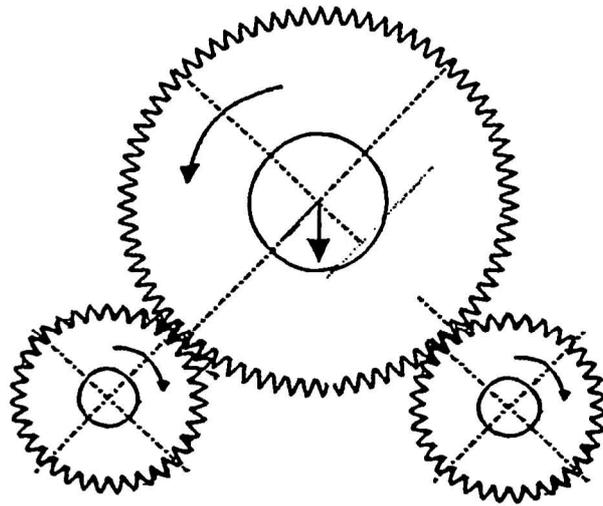


Fig. 20