



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 314 766**

51 Int. Cl.:

B23F 19/00 (2006.01)

B24B 31/00 (2006.01)

F16H 55/06 (2006.01)

C23C 22/83 (2006.01)

C23F 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06004800 .6**

96 Fecha de presentación : **09.03.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **1832370**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **12.09.2007**

54

Título: **Proceso para la fabricación de dentados evolventes de ruedas de engranaje.**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.03.2009

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.03.2009

73

Titular/es: **Winergy AG.**
Im Industriepark 2
46562 Voerde, DE

72

Inventor/es: **Tenbrock, Stefan**

74

Agente: **Isern Jara, Jorge**

ES 2 314 766 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).

ES 2 314 766 T3

DESCRIPCIÓN

Proceso para la fabricación de dentados evolventes de ruedas de engranaje.

5 El invento trata de un proceso para la fabricación de dentados evolventes de ruedas de engranaje, particularmente de ruedas cilíndricas de dientes rectos con una modificación de perfil, con las características del término genérico de la reivindicación 1.

10 Las ruedas cilíndricas de dientes rectos con dentados en trenes de engranajes transmiten el movimiento rotatorio de un árbol motriz a un árbol secundario y cambian, por otra parte, las revoluciones de los árboles. En este caso se tocan dos flancos de diente opuestos de dos ruedas. La rotación continuada de las ruedas conduce a un cambio continuado del lugar geométrico del contacto a lo largo de la línea de engrane. Del mismo modo, cambian en forma continuada las zonas parciales involucradas de los flancos en la transmisión desde el inicio del engrane hasta la separación de los flancos. De este modo, todos los dientes dispuestos en la circunferencia transmiten uno tras otro una parte de la rotación.

15 El cambio continuado de los parámetros geométricos no debe llevar a una relación de transmisión que sea variable en forma periódica. Particularmente la forma del flanco de una evolvente compensa tales cambios de tal modo, que la relación de transmisión permanece constante, independientemente de los parámetros geométricos variables con el tiempo. La relación de transmisión del tren de engranajes depende ya solamente de la relación de los números de dientes. Además de ello, otras propiedades favorables de una geometría de este tipo, posibilitan una adaptación flexible a condiciones de partida similares.

20 Para el cumplimiento del trabajo de la transmisión de movimientos rotatorios son conocidas múltiples formas de dentados evolventes rectos y oblicuos, particularmente para trenes de engranajes de ruedas cilíndricas de dientes rectos, ruedas de engranaje cónicas y planetarios. En tales dentados es particularmente favorable que se los pueda fabricar de forma sencilla.

25 El fresado continuo por generación se impuso como extremadamente rentable en el caso de altas exigencias a la calidad de los flancos. En este caso, una herramienta para fresar saca por corte de una pieza bruta maciza los dientes con los flancos con forma de evolvente.

30 Los materiales de acero para ruedas cilíndricas de dientes rectos ofrecen aquí, aparte de elevados valores de resistencia, la ventaja particular de que los valores de resistencia pueden ajustarse mediante un tratamiento térmico a un valor bajo para la fabricación y a un valor alto para la posterior utilización en trenes de engranajes. Para el incremento definitivo de los valores de resistencia son adecuados los procesos de fabricación, temple y revenido, nitruración o cementación. La transformación de la estructura en el material durante el tratamiento térmico lleva, entre otros, a una deformación, es decir a una desviación de la forma geométrica ideal del flanco. Adicionalmente, por el filo de la herramienta pueden quedar huellas de fabricación sobre la superficie como desviaciones de la evolvente ideal. En suma, la superficie está caracterizada por valores de rugosidad relativamente altos con una estructura irregular ranurada. Los valores de rugosidad característicos como medida para la suma de las desviaciones de la forma geométrica ideal del flanco son generalmente mayores que $R_a = 12,5 \mu\text{m}$ en procesos de fabricación usuales en la industria.

35 Las desviaciones sobre la superficie real del flanco determinan la calidad de dentado. De la teoría de la resistencia de materiales es conocido que, en componentes sometidos a solicitaciones elevadas, las superficies rugosas conducen a un fallo prematuro como consecuencia del efecto de entallado. Los métodos de cálculo pertinentes tienen en cuenta esta circunstancia y, por este motivo, aspiran a conseguir una calidad de dentado, que sea lo más alta posible, con reducidos valores de rugosidad entre $R_a = 0,8$ y $1,6 \mu\text{m}$. Una calidad de esta clase puede alcanzarse en un paso de trabajo adicional luego del fresado y del temple por medio del rectificado o lapeado. Una reducción de la calidad de superficie que vaya más allá de ello sólo puede alcanzarse con tiempos de mecanizado considerablemente más prolongados. En este caso existe el peligro de que las temperaturas permitidas entre la muela de rectificar, que está rotando, y el flanco del diente se excedan y conduzcan a fisuras por tensiones o a un ablandamiento de la superficie por recocido local. Un efecto de este tipo también se denomina sobrecalentamiento de amolado.

40 La EP 1 167 825 A2 especifica un proceso de cómo puede reducirse la calidad usual de superficie de un flanco de diente con forma de evolvente de $R_a = 0,8$ a $1,6 \mu\text{m}$ a valores de rugosidad de $R_a = 0,127 \mu\text{m}$ a $0,254 \mu\text{m}$ por medio de la aplicación de la abrasión por vibración acelerada químicamente. El alisamiento uniforme del flanco en $1 \mu\text{m}$ en promedio conduce a un aumento de la superficie portante del flanco.

45 En el proceso de la abrasión por vibración acelerada químicamente según EP 0 414 441 A2, las piezas de trabajo se ponen en vibración, junto con un líquido químico especial y una mezcla de sustancias sólidas, en un recipiente. El líquido especial reacciona con la superficie metálica desnuda y forma una película que recubre las puntas de rugosidad metálicamente desnudas. Las sustancias sólidas no abrasivas quitan luego las puntas de rugosidad cubiertas. Sobre la superficie metálica desnuda se forma un film nuevo por medio del líquido especial, la cual a su vez se quita por las sustancias sólidas hasta que se alcanza la rugosidad predeterminada, máxima permitida.

50 La WO 2004/108356 A1 enseña que la rugosidad de superficie de flancos fresados por generación y rectificadas subsiguientemente para el alisamiento de superficie no es suficiente para una utilización operacionalmente segura con

ES 2 314 766 T3

exigencias particularmente altas en lo que respecta a la duración. Recién en la fase de rodaje, las puntas de rugosidad individuales que quedan se rompen en el contacto de dos flancos, llegando de este modo al aceite de engranajes y contribuyendo subsiguientemente en todas las zonas de contacto lubricadas, a un daño considerable.

5 Por tal motivo, la WO 2004/108356 A1 prescinde del rectificado alisador y del procedimiento de rodaje, que por ello es obligatoriamente necesario, para el alisamiento final de la superficie. En su lugar, las ruedas cilíndricas de dientes rectos con los flancos de diente con forma de evolvente, fresadas por generación, teóricamente ideales se tratan, luego del tratamiento térmico, con la abrasión por vibración acelerada químicamente. El alisamiento de la superficie tiene lugar sobre toda la superficie metálica con una cuota de remoción que es uniforme en todos los puntos.
10 Se aspira a conseguir un valor de rugosidad de $Ra \leq 0,25 \mu\text{m}$. Como ventaja adicional por la abstención del rectificado tampoco hay necesidad de realizar la prueba de sobrecalentamiento de amolado, la cual es necesaria debido a errores de mecanizado que aumentan la temperatura en el rectificado.

15 De la EP 1 350 601 B1 es conocido un proceso, en el que se quita una capa cobradora no deseada molesta quebradiza, que es una consecuencia del tratamiento térmico sobre el material base que en realidad está templado. También este caso se utiliza la abrasión por vibración acelerada químicamente para la remoción uniforme de unos pocos micrómetros de la superficie y se logra un valor de rugosidad de aprox. $Ra = 0,3 \mu\text{m}$ para la rugosidad.

20 De la EP 0 229 894 es conocido un proceso según el concepto general de la reivindicación 1.

Los procesos conocidos para el alisamiento de los flancos por medio del mecanizado superficial de precisión de la abrasión por vibración acelerada químicamente tienen la desventaja determinante de que exclusivamente tiene lugar sólo una remoción uniforme delgada de unos pocos micrómetros sobre toda la superficie. Los defectos de forma de los flancos, que pueden aparecer como deformación en el tratamiento térmico con valores localmente diferentes y que son mayores que las cuotas de remoción mencionadas, sólo pueden alisarse, pero no quitarse localmente en forma orientada hacia ese objetivo. Particularmente, la abstención completa del rectificado según la WO 2004/108356 lleva a dentados que presentan exclusivamente flancos de diente con un perfil de evolvente defectuoso.

30 Una importante dificultad conocida en el desarrollo de la forma ideal de flancos en dentados altamente solicitados es la consideración de la deformación elástica de los dientes bajo la carga de operación. Particularmente en lugares, en los que al principio o al final del engrane de dos pares de dientes, que engranan al mismo tiempo, se pasa a sólo un par de dientes, que engranan al mismo tiempo, se modifica repentinamente la carga específica de diente y con ello también la deformación elástica. Los fallos de engrane se presentan en la punta del diente o bien en la raíz del diente. Aparte de ello, todo el ramal de árboles se deforma bajo carga, de modo que sobre la anchura del diente se produce un diagrama de contacto diferente, dependiente de la elasticidad.

35 Tales deformaciones pueden determinarse previamente por cálculo y pueden compensarse por medio de modificaciones, que están limitadas localmente, en el perfil ideal de evolvente. Los valores de corrección son en la media 10 a $50 \mu\text{m}$, en dependencia del módulo, y se encuentran, con una potencia de diez, notablemente por encima de los valores que pueden lograrse con la abrasión por vibración acelerada químicamente. Además, los adelgazamientos de corrección tienen lugar con cuotas de remoción, que aumentan definitivamente, en forma de trayectorias lineales o parabólicas de curvas. Tales cuotas de remoción limitadas y localmente variables no pueden producirse con la remoción uniformemente equidistante de la abrasión por vibración.

45 Por medio del rectificado del flanco de diente con una muela de rectificar, que se encuentra en rotación, pueden aplicarse en forma definida sobre el flanco del diente las desviaciones de la fabricación y las modificaciones locales calculadas. Las cuotas de remoción deseadas pueden controlarse mediante el avance de la herramienta y la pieza de trabajo. Las superficies de los adelgazamientos presentan, en contraste con el flanco de evolvente, otra convexidad espacial. La transición entre las superficies parciales del flanco de diente, que limitan una con la otra, puede comprobarse en forma metrológica como línea de canto no deseada. En un emparejamiento de rodadura, que está lubricado con aceite, de dos flancos de diente, un canto de este tipo tiene un efecto desfavorable sobre las condiciones hidrodinámicas de lubricación debido al carácter de canto filoso. En la salida radial y frontal de la muela de rectificar de la pieza de trabajo se produce del mismo modo desfavorablemente otra rebaba detectable que puede conducir a daños en el flanco contrario.

55 El invento tiene el objetivo de desarrollar el proceso genérico para la fabricación de un dentado de evolvente con modificación de perfil de tal modo, que en la transición del flanco ideal de evolvente a los tramos de superficie modificados no quede asintóticamente ninguna rebaba detectable.

60 El objetivo del invento se consigue en el proceso genérico según el invento por medio de las características específicas de la reivindicación 1. Las ampliaciones favorables del invento son objeto de las subreivindicaciones.

Una rueda de engranaje con dentado interior o exterior se produce por medio de fresado por generación con un cierto agregado de mecanizado. Un subsiguiente tratamiento térmico adecuado para el respectivo material incrementa los valores de resistencia del dentado. Para finalizar, la superficie del flanco duro de diente se mecaniza con precisión en forma y calidad de superficie mediante una muela de rectificar que rota. Puede prescindirse de un redondeado engorroso de cantos por parte de la guía de herramienta y ello conduce a un acortamiento de la duración de mecanizado. Con ello se reduce también el peligro de sobrecalentamiento de amolado.

ES 2 314 766 T3

Las ruedas de engranaje dentadas y modificadas en los flancos se tratan, a diferencia del estado de la técnica actual, en un último paso de mecanizado con la conocida abrasión por vibración acelerada químicamente.

5 Un guiado de proceso ajustado a la geometría del componente y los objetivos del tratamiento conduce primeramente, por el efecto de abrasión de las sustancias sólidas no abrasivas, a una remoción predominante de las rebabas en los bordes de flanco y a una nivelación asintótica de los cantos en el flanco de diente entre tramos colindantes de superficie. Los defectos de superficie no deseados se eliminan directamente por las sustancias sólidas de abrasión hasta que las relaciones de tamaño entre las sustancias sólidas abrasivas y el material superfluo pasan a estar por debajo de un tamaño determinado.

10 Recién a partir del punto, en que se pasa a estar por debajo del tamaño predeterminado del material superfluo, el líquido químico especial apoya el proceso de separación, por recubrimiento constante, por parte de la sustancia, de los restos de elevaciones que quedan. Un efecto de este tipo posibilita a los cuerpos de abrasión la continuación del proceso de alisamiento. Simultáneamente con el tratamiento de los cantos se quitan sobre todas las superficies del componente también las puntas de rugosidad como consecuencia de la acción recíproca entre las puntas, el líquido especial y los cuerpos de abrasión. Después de la finalización del tratamiento, la superficie presenta valores de rugosidad de $R_a = 0,3 - 0,4 \mu\text{m}$.

20 El invento y las ventajas relacionadas con el invento se explican a continuación más detalladamente en un ejemplo de fabricación representado en un dibujo. Se muestran en:

la figura 1, una sección sobre un dentado con flancos de evolvente según el estado de la técnica actual,

25 la figura 2, una vista sobre un dentado modificado,

la figura 3, una vista sobre un par de dietes engranando,

la figura 4, una sección ampliada sobre el engrane de dientes.

30 La figura 1 muestra una sección sobre un dentado 1 con flancos de evolvente 2 según el estado de la técnica. Para la clarificación del ejemplo de fabricación conocido, las representaciones están reducidas al contenido importante de información. Las condiciones dibujadas se reproducen ampliadas fuera de escala meramente a los efectos de la explicación clara.

35 Una fresa generadora no representada elabora en un proceso continuo de corte, dientes 3 de una pieza bruta maciza cilíndrica premecanizada. En una estación de mecanizado intercalada delante se produjeron un círculo exterior 4 y caras frontales 5, así como taladros de sujeción no representados, con las medidas de diseño especificadas. La herramienta de fresado genera entre los dientes el espacio que está limitado por una línea de canto 6.

40 La línea de canto 6 se compone de varias secciones. En un primer flanco de diente, la curva ideal de una evolvente 7 comienza en un canto de círculo exterior 8 y conduce a un redondeado de raíz 9 que a su vez se convierte en un círculo de raíz 10. En el flanco de atrás del diente colindante, la línea de canto 6 continúa en igual forma.

45 En dependencia de los datos de dentado, la herramienta de fresado puede formar el redondeado de raíz 9 de tal modo, que se genera un corte al descubierto de raíz con un canto de raíz 11 pronunciado, como transición al flanco de evolvente 2. Favorablemente puede aprovecharse el resalto del flanco de evolvente 2 con respecto al redondeado de raíz 9 como adición de mecanizado para el rectificado subsiguiente. Particularmente puede evitarse de este modo en la raíz del diente una muesca adicional de rectificado por la muela para rectificar utilizada. Otras modificaciones selectivas en el dentado no pueden producirse con el fresado por generación.

50 La figura 2 muestra el diente 3 según el estado de la técnica actual, el cual, luego del fresado del dentado de evolvente, un tratamiento térmico y un rectificado final de las modificaciones de los flancos, está terminado de mecanizar. Líneas de puntos y rayas 12 ilustran sólo las transiciones cualitativas de distintas secciones sobre el flanco del diente y clarifican las diferentes superficies parciales con transiciones de una a otra. La posición exacta de las transiciones sobre el flanco del diente sólo puede determinarse con instrumentos de medición sensibles. El flanco de evolvente 2 no modificado continúa formando una gran parte de la superficie. El flanco del diente se limita en la altura por las secciones del adelgazamiento de punta 13 y del adelgazamiento de raíz 14 y en los bordes laterales por las zonas del adelgazamiento de línea de flanco 15.

60 En la figura 3 está representada una sección a través de dos dientes 16 y 17, que engranan uno con el otro, con modificación de perfil. En los dientes están representados a lo largo de la línea de canto 6, como secciones parciales, el círculo de raíz 10, el redondeado de raíz 9, el canto de raíz 11, el flanco de evolvente 2 y el canto de círculo exterior 8. En la zona de raíz, la línea de rayas muestra el adelgazamiento de raíz 14 y, en la punta del diente, el adelgazamiento de punta 13. Estas modificaciones se removieron por el rectificado de dientes. El contacto entre los dientes en el detalle X presenta sólo detectable en forma de dibujo, una ranura 18, a los efectos de clarificar que entre los flancos portantes se encuentra un film de aceite no representado.

ES 2 314 766 T3

La figura 4 muestra como detalle X la zona de contacto de dos dientes 16 y 17. Por el adelgazamiento de punta 13 se separan del diente cantidades más grandes de material de diente por medio de la muela para rectificar. Particularmente en la salida de la muela hacia el círculo exterior 8 puede producirse una rebaba 19 que es más grande que la rugosidad normal de diente. Por medio del control de preavance de la muela para rectificar se aspira frecuentemente a obtener un redondeado, el cual, sin embargo, conduce a un aumento no rentable de la duración de mecanizado. Del mismo modo puede observarse otra formación de rebaba 20 en la salida inferior en el canto de raíz 11.

El adelgazamiento lineal de punta se convierte en un punto 21 en el flanco de evolvente 2. En la ranura 18 se conforma una película lubricante hidrodinámica portante debido al aceite lubricante presente. De consideraciones sobre la teoría de la hidrodinámica puede deducirse que ya pequeñas discontinuidades en la rugosidad de pared, como aquí en el punto 21, tienen por efecto perturbaciones considerables en el estado de flujo del film lubricante.

Los efectos, tanto de las formaciones de rebaba 19 y 20 como de la perturbación en el film lubricante se solapan con sollicitación normal, usual en la industria, por otras influencias. Justamente en dentados para las más altas sollicitaciones en trenes de engranajes para generadores eólicos de energía, estas fuentes de fallos deben descartarse con gran seguridad. El emparejamiento, usual aquí, de dentados planetarios templados por cementación y coronas templadas y revenidas, más blandas, puede conducir a un daño con desgaste abrasivo de las superficies de flanco 2. Las velocidades de giro relativamente bajas requieren, además, medidas especiales para la conformación segura de la película lubricante entre los flancos.

A continuación del rectificado del dentado modificado en los flancos se lleva a cabo, como último paso de mecanizado, la abrasión por vibración acelerada químicamente, conocida p. ej. por la EP 0 414 441 A2 y descrita al principio. En este caso, las ruedas de engranaje se tratan en forma química y mecánica, dentro de un recipiente puesto a vibrar, con un líquido especial químico que está mezclado con sustancias sólidas no abrasivas. En el transcurso del tratamiento, las rebabas 19, 20 y la discontinuidad en el punto 21, que se produjeron por la introducción de la modificación de perfil en las transiciones de los flancos de canto, que son colindantes uno con el otro, del círculo exterior 8 y del canto de raíz 9, se eliminan en pasos que se repiten múltiples veces. La abrasión por vibración se continúa hasta que las transiciones están niveladas asintóticamente y los flancos de diente están rectificadas a valores de rugosidad predeterminados de $R_a = 0,3$ a $0,4 \mu\text{m}$ en promedio.

REIVINDICACIONES

5 1. Proceso para la fabricación de dentados evolventes de ruedas cilíndricas de dientes rectos, particularmente de
acero cementado, acero templado y revenido o acero nitrurado, particularmente para trenes de engranajes de genera-
dores eólicos de energía, proceso en el que las ruedas cilíndricas de dientes rectos se fresan por generación, se tratan
térmicamente y se proveen de una modificación de perfil, conformada como adelgazamiento de punta, de raíz y de
línea de flanco (13, 14, 15), que se desvía de la forma de evolvente y se introduce por rectificado, **caracterizado** por-
que las ruedas cilíndricas de dientes rectos se someten a una abrasión por vibración acelerada químicamente con un
10 líquido especial químico y cuerpos de rectificado no abrasivos, además, porque una formación de rebaba en los cantos
de flanco (12), que limitan la modificación de perfil, se remueve por medio de una influencia sucesiva, por un lado, por
parte de los cuerpos de rectificado no abrasivos en las rebabas y, por otro lado, por un efecto que produce posterior-
mente el líquido especial químico en los restos de rebaba y porque los cantos de flanco (12) se nivelan asintóticamente
en el flanco de diente entre superficies parciales abombadas diferentemente.

15 2. Proceso, según la reivindicación 1, **caracterizado** porque los flancos de diente se rectifican a valores de rugosi-
dad de $R_a = 0,3$ a $0,4 \mu\text{m}$ en promedio.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

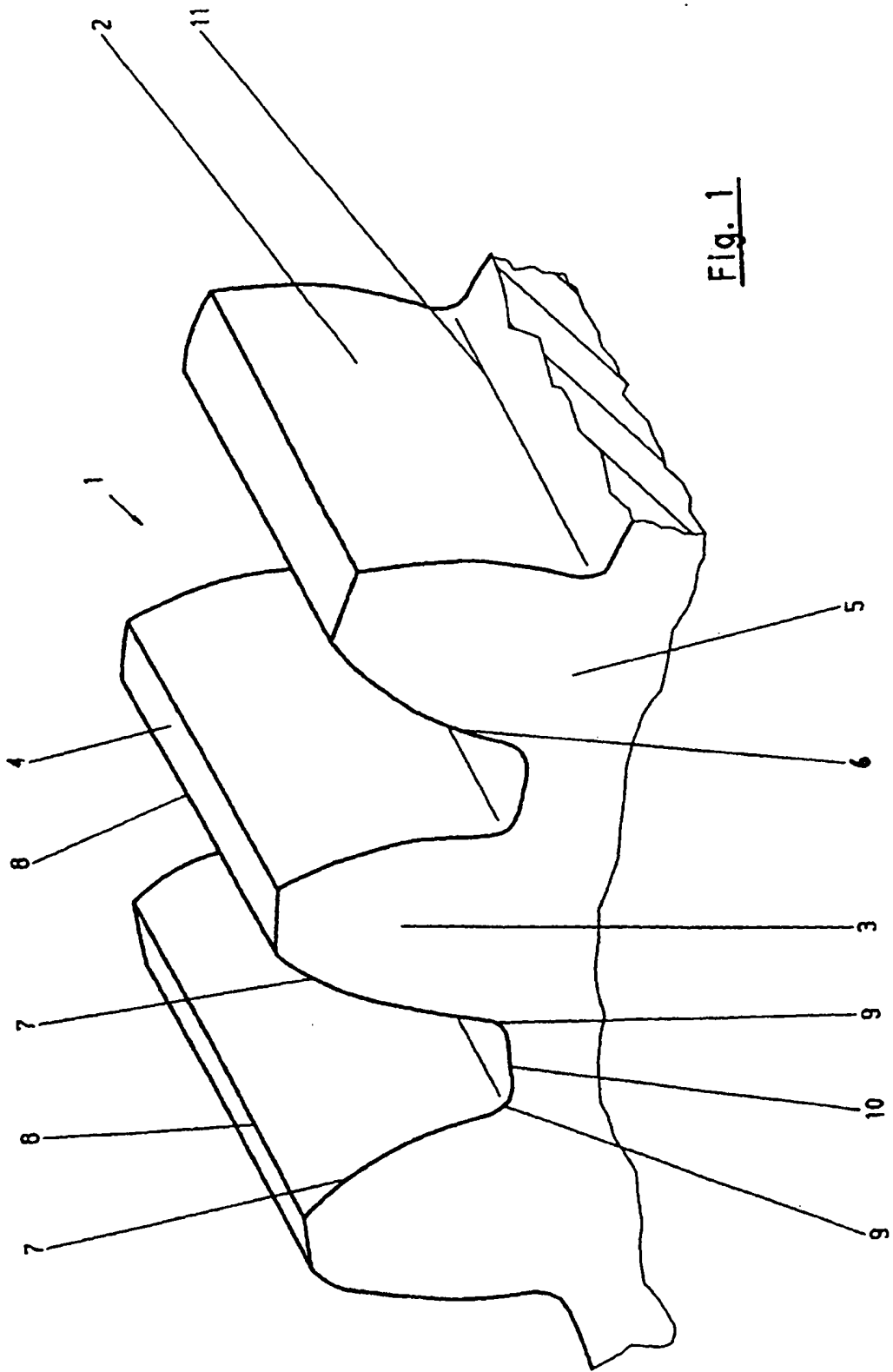


Fig. 1

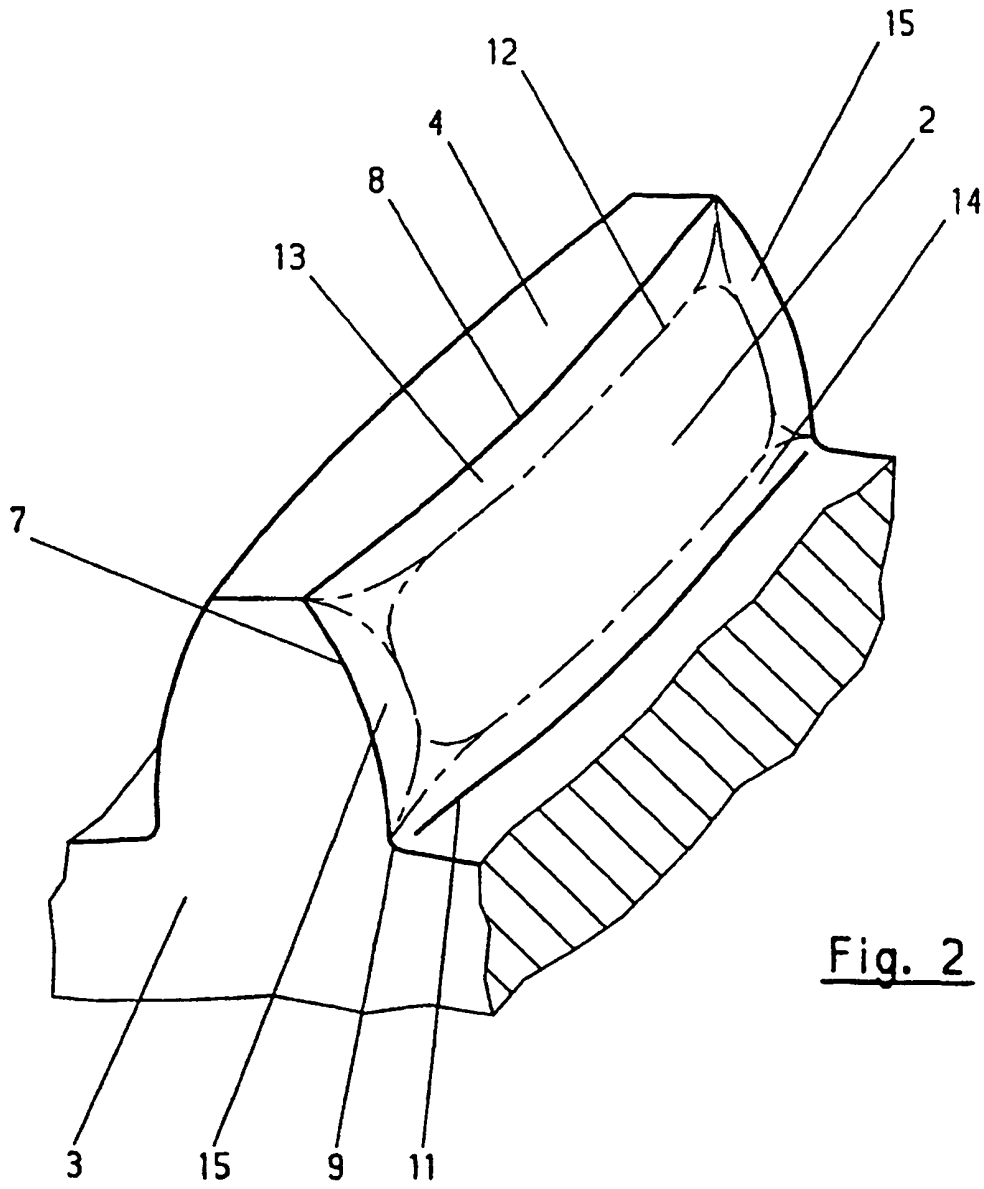


Fig. 2

