

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 640 090**

51 Int. Cl.:

F16H 55/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.03.2014 PCT/EP2014/054110**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.09.2014 WO14146892**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.03.2014 E 14707767 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.08.2017 EP 2976552**

54 Título: **Dentado de una rueda dentada**

30 Prioridad:

21.03.2013 DE 102013004861

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

31.10.2017

73 Titular/es:

**VOITH PATENT GMBH (100.0%)
St. Pöltener Str. 43
89522 Heidenheim, DE**

72 Inventor/es:

**SCHNEIDER, LARS;
ROTH, ZSOLT;
MÜNZER, MICHAEL y
LUBOS, FLORIAN**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 640 090 T3

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

DESCRIPCIÓN

Dentado de una rueda dentada

5 La invención se refiere a un dentado de una rueda dentada con una pluralidad de dientes según la forma definida más detalladamente en el preámbulo de la reivindicación 1.

10 Por el documento DE 10 2006 015 521 B3 se conoce un dentado de una rueda dentada con engranaje dentado evolvente. El principio del documento señalado se refiere especialmente a la así llamada zona de base del diente, o sea, a la zona que une entre sí los distintos dientes de la rueda dentada con engranaje dentado evolvente. En el documento señalado, se propone, con el objeto de proporcionar en ambas direcciones de marcha dentados capaces de girar de manera uniforme, una zona de base de diente redondeada en forma de elipse frente al habitual redondeo fresado por generación. Como consecuencia del redondeo elíptico de la zona de base de diente, estas ruedas dentadas presentan una mayor capacidad de soporte que la de las ruedas dentadas con redondeo radial.

15 El documento DE 10 2008 045 318 B3 describe como estado de la técnica más cercano un dentado de una rueda dentada cuya zona de base de diente se compone de varias curvas descriptibles por medio de funciones matemáticas. A partir de un diámetro relevante sigue al perfil de diente en primer lugar una zona configurada como función tangente. Ésta se convierte después en una trayectoria circular para convertirse a su vez por el lado opuesto, en una función tangente, en el perfil de diente.

20 En lo que se refiere a las tensiones, este proceso, si se realiza de manera muy exacta, ha resultado ventajoso. Sin embargo tiene un inconveniente: aumenta el trabajo de cálculo en la construcción de la rueda dentada, dado que los parámetros para la posición exacta de las curvas entre sí, por ejemplo, la posición de la transición de la función tangente a la trayectoria circular, se tienen que determinar con precisión.

Partiendo del estado de la técnica conocido, la presente invención tiene por objeto proporcionar un dentado para una rueda dentada con engranaje dentado que evite los inconvenientes mencionados.

25 Esta tarea se resuelve según la invención por medio de la parte de las características indicadas en la reivindicación 1. Otras configuraciones ventajosas y perfeccionadas resultan de las reivindicaciones dependientes.

Un dentado según la invención de una rueda dentada comprende una pluralidad de dientes cuyos flancos de diente presentan una zona principal y una zona de base de diente. La zona de base de diente se extiende en sección frontal o sección normal, en dirección de la vista, paralela al eje de giro de la rueda dentada, mirando desde un círculo de base hasta un círculo principal.

30 Si en la presente invención se habla de radio, círculo o diámetro, esto significa para su descripción siempre el diámetro correspondiente referido al eje de giro de la rueda dentada según la invención. El dentado según la invención se puede realizar como dentado interior o exterior. Independientemente de si se trata de un dentado interior o exterior, el diámetro correspondiente siempre se indica con referencia al eje de giro de la rueda dentada según la invención.

35 En el sentido de la presente invención se entiende por el término de sección frontal un corte de la rueda dentada perpendicular al eje de giro de la rueda dentada. Por sección normal, en cambio, se entiende un corte de la rueda dentada perpendicular a una línea de flancos que se desarrolla en dirección longitudinal del dentado. En los dentados helicoidales, por ejemplo, la construcción del contorno de base se puede realizar en sección frontal. A continuación, el dentado a crear se puede transformar, por ejemplo, en la sección normal para la construcción de la herramienta necesaria como herramienta de mortajar por generación. En principio también es posible imaginar un procedimiento a la inversa.

40 Como zona principal en el sentido de la presente invención se define, visto en el corte mencionado, la sección del dentado situada entre el círculo de cabeza en la zona de las cabezas de los dientes y el círculo principal d_H . De esta manera, en el caso de un dentado exterior, radialmente dentro del círculo principal d_H , especialmente de forma directa, sigue a la zona principal la zona de base de diente. En el caso del dentado interior, ésta sigue de forma análoga radialmente por la parte exterior del círculo principal d_H . Si en el dentado no se prevé ninguna protuberancia, la zona principal corresponde a una zona de uso. La zona de uso define la zona que se extiende desde el círculo de cabeza hasta un diámetro d_N , el así llamado círculo de uso. En la zona de uso, los flancos de diente de la rueda dentada y de la correspondiente rueda dentada opuesta ruedan unos sobre otros. Sin embargo, al prever una protuberancia, la zona principal comprende además de la zona de uso, una zona de protuberancia en la que se dispone la protuberancia. En el caso del dentado exterior, la zona de protuberancia se desarrolla entre el círculo de uso d_N y un círculo de protuberancia d_P dispuesto radialmente dentro del círculo de uso d_N , y en el caso de dentado interior se desarrolla entre el círculo de uso d_N y un círculo de protuberancia d_P dispuesto radialmente por fuera del círculo de uso d_N . El círculo de protuberancia d_P resulta geoméricamente del perfil de protuberancia elegido de la protuberancia. El círculo de protuberancia d_P se puede caracterizar en un dentado exterior, por ejemplo, por el círculo en el punto radialmente interior y en el caso del dentado interior por el círculo en el punto radialmente exterior del perfil de protuberancia. Por consiguiente, al prever una protuberancia el círculo principal d_H coincide con el círculo de protuberancia d_P situado en relación con el círculo de uso d_N radialmente más hacia dentro (en caso de dentados exteriores) o radialmente más hacia fuera (en caso de dentados interiores). Resumiendo se puede decir

que, independientemente de si se trata de un dentado interior o exterior, la zona principal se extiende, sin la previsión de una protuberancia, del círculo de cabeza al círculo de uso d_N y, si se prevé una protuberancia, del círculo de cabeza al círculo de protuberancia d_P .

5 La transición de la zona de base de diente a la zona principal, visto desde la zona de base de diente, se produce, según la invención, en un diámetro relevante d_r . En el sentido de la presente invención, el diámetro relevante d_r se puede elegir de manera que coincida con el círculo principal. Para el caso de que no se prevea ninguna protuberancia, la zona principal corresponde, como se ha descrito antes, a la zona de uso, de modo que el diámetro relevante d_r sea igual al círculo principal d_H y, por consiguiente, igual al círculo de uso d_N . Por regla general, el diámetro relevante d_r se elige en los dentados exteriores algo más pequeño y en los dentados interiores algo más grande que el círculo de uso d_N correspondiente para garantizar una seguridad lógica con vistas a la tolerancia de producción y la tolerancia de almacenamiento de las ruedas dentadas. En caso de una protuberancia corresponde al círculo de protuberancia d_P o se elige igualmente de forma análoga, como se acaba de exponer a la vista del ejemplo del dentado interior y exterior, garantizando una seguridad lógica, algo más pequeño o grande que el círculo de protuberancia d_P correspondiente.

15 Según la invención, los flancos de diente se realizan en la zona de base de diente, visto respectivamente en la sección frontal o la sección normal, a partir del diámetro relevante d_r en dirección al círculo de base como curva de Bézier. En el caso del dentado exterior "en dirección hacia el círculo de base" significa especialmente en dirección radial al punto central de rueda dentada y, en el caso del dentado interior, especialmente en dirección radial alejándose del punto central de rueda dentada hacia el exterior. En este caso, en el diámetro relevante d_r la curva de Bézier se convierte, respectivamente en un punto principal tangencialmente continuo, en el perfil de diente de la zona principal. El punto principal respectivo corresponde al punto inicial o final correspondiente de la curva de Bézier. En caso de que el círculo principal se elija de manera que coincida con el diámetro relevante d_r , los dos puntos principales se sitúan en el círculo principal d_H . Por lo demás, los puntos principales se encuentran en el diámetro relevante d_r diferente del círculo principal d_H .

25 Las ventajas de la solución según la invención son las siguientes: sólo se utiliza una única curva continua e invariable que une en la zona de base de diente dos flancos de diente sucesivos. Dado que la curva de Bézier varía constantemente su curvatura, no se forma ninguna zona en la que se produzca un salto de curvatura. Por consiguiente, tampoco resulta ninguna variación brusca en la curva de tensión de la zona de base de diente. Esto permite repartir las tensiones de un modo más uniforme y en general más extendido.

30 Por lo tanto, los inventores han encontrado una solución que también permite una curva de tensión óptima incluso en caso de previsión de protuberancias. Al prever una protuberancia, las tensiones también se pueden repartir más uniformemente por la zona de base de diente según la invención y, por consiguiente, en general de forma más extendida. Así, la capacidad de soporte de la zona de base de diente también se mejora considerablemente incluso en caso de prever una protuberancia.

35 La utilización de una curva de Bézier permite al mismo tiempo un trabajo de cálculo reducido especialmente en la construcción de una rueda dentada de este tipo. Gracias a la curva de Bézier, que requiere un cálculo menos intenso, es posible simplificar considerablemente las optimizaciones de la posición preferida de los puntos principales y/o de control con respecto a tensiones de base más reducidas. Este es especialmente el caso cuando el dentado se realiza simétricamente, ya que entonces sólo es preciso calcular un único parámetro, concretamente la posición de uno de los puntos de control en la tangente a través del punto principal. El segundo punto de control necesario en la cara opuesta al eje de simetría se refleja simplemente en relación con sus coordenadas.

40 Por consiguiente, el uso de las curvas de Bézier tiene, en términos de construcción y fabricación, la ventaja decisiva de que sólo es preciso calcular y definir de forma correspondiente dos puntos de transición, concretamente la transición tangencial continua en la zona de los puntos principales. El resto resulta directamente de la curva de Bézier, de manera que pueda obtenerse una simplificación significativa en la construcción del dentado. No obstante, éste presenta además una muy buena capacidad de soporte que en todo caso es igual o mejor que la capacidad de soporte de los dentados descritos en el estado de la técnica citado al principio.

45 Con especial preferencia, la transición tangencialmente continua entre el perfil de protuberancia y la curva de Bézier está separada del flanco de diente por una socavación de pie F_S . Por socavación de pie F_S el experto en la materia entiende aquella medida, incluida una reserva de mecanizado como el margen de rectificado, que se extiende en el flanco de diente de la zona principal paralelamente al flanco de diente hasta el propio perfil de protuberancia, especialmente hasta el punto "más profundo" del perfil de protuberancia que llega hasta el interior del dentado, visto, por ejemplo, en dirección perimetral.

50 Aquí sería posible imaginar que los al menos dos puntos de control se sitúen dentro o fuera de una superficie formada por las tangentes y las curvas de Bézier. Sin embargo, esto tendría el inconveniente de una transición discontinua en la zona de los puntos principales lo que reduciría la capacidad de soporte. Por este motivo, la curva de Bézier presenta preferiblemente al menos dos puntos de control que se sitúan respectivamente en la zona de base de diente en la tangente en el punto principal. También podría decirse que los puntos principales que forman el punto inicial y el punto final de la curva de Bézier continua, coinciden respectivamente con el punto en el que la zona principal se convierte en la zona de base de diente.

De acuerdo con una forma de realización preferida, la curva de Bézier es una curva de Bézier de tercer o mayor grado. En especial es una curva de Bézier cúbica que comprende exactamente dos puntos de control de los que uno de ellos se sitúa en la tangente correspondiente que se desarrolla a través del punto principal, calculándose la distancia k de cada uno de los puntos de control respecto a su punto principal en la tangente de la manera que sigue a continuación:

$$k = (0,25 + 0,1 \times f) \times l$$

con:

$$0 < k \leq 1 \text{ y } 0 \leq f \leq 3,$$

correspondiendo l a la distancia entre uno de los puntos principales y el punto de intersección (S) de las tangentes.

10 El factor f es preferiblemente de entre 0,5 y 1,5.

El dentado puede realizarse de forma simétrica o asimétrica. En el primer caso, los flancos de diente de los dientes adyacentes en la sección frontal o la sección normal se configuran respectivamente simétricos entre sí, cortando el eje de simetría el punto de base en el círculo de base y desarrollándose las tangentes simétricamente al eje de simetría y cortándose, en caso de prever un dentado exterior, radialmente dentro y, en caso de prever un dentado interior, radialmente fuera del diámetro relevante en un punto de intersección situado en el eje de simetría. En una forma de realización asimétrica del dentado, los flancos de diente de dientes adyacentes en la sección frontal o la sección normal se configuran respectivamente asimétricos entre sí. Las tangentes se cruzan en un punto de intersección no situado en el eje de simetría.

20 Según las formas de realización descritas, la curva de Bézier puede presentar un polígono de control, situándose todo el polígono de control, que une entre sí los puntos principales, así como los al menos dos puntos de control, en el interior de la superficie formada por las tangentes y la curva de Bézier.

El dentado según la invención resulta adecuado en la zona de base de diente, por ejemplo, para dentados que se desarrollan en línea recta, oblicua o curvada, como dentados frontales. El aumento de la resistencia asociado al mismo también se puede conseguir en dentados de, por ejemplo, ruedas dentadas cónicas u otros tipos de ruedas dentadas.

25 En principio, también es posible imaginar el uso del dentado según la invención, especialmente la configuración de la base de diente, en cremalleras, ruedas dentadas cónicas, ruedas biseladas, coronas dentadas, ruedas helicoidales o ruedas sin fin y distintos dentados planos, siendo en tal caso necesario determinar la forma de base de diente en la respectiva sección frontal o sección normal y variando correspondientemente, por ejemplo, en caso de ruedas helicoidales de una entrada y de varias entradas, a lo largo de la longitud del diente desarrollado en su totalidad naturalmente en virtud de la geometría normalmente variable del propio diente, es decir, por ejemplo, de la altura del diente o de la anchura del diente.

30 Por consiguiente, un dentado según la invención debe realizarse, en principio, en distintas ruedas dentadas y en elementos dotados de dientes. En este caso también es posible imaginar la combinación con cualquier perfil de diente en la zona principal y especialmente en la zona principal y en especial en la zona de uso. No obstante, resulta especialmente preferible la utilización con una zona principal y en especial con un perfil de diente configurado en la zona de uso como curva epicicloide (evolvente u octoidal), especialmente con un perfil de diente evolvente. Este tipo común de dentado en general habitual en la maquinaria resulta especialmente adecuado para la configuración según la invención de la zona de base de diente. Los mayores aumentos de la capacidad de soporte gracias a la nueva configuración de la zona de base de diente se determinaron en ruedas dentadas de este tipo con dentado evolvente.

Especialmente en caso de que el dentado según la invención se prevea para una cremallera, este dentado puede construirse de forma correspondiente por medio de una contrarrueda que engrana con la cremallera y a continuación desarrollarse. En este caso se aplica análogamente lo dicho hasta ahora.

45 A continuación se describe en ejemplos de realización por medio de las figuras el aspecto y la funcionalidad de la nueva forma de base de diente en el ejemplo de un hueco entre dientes de una rueda dentada con engranaje exterior evolvente en la sección frontal o la sección normal. Sin embargo, esta configuración de la zona de base de diente también puede aplicarse en principio, como ya se ha explicado detalladamente, a distintos tipos de ruedas dentadas y de dentados, así como a dentados interiores.

50 Se muestra en la:

Figura 1 las magnitudes de referencia en una rueda dentada con dentado exterior evolvente con un dentado de dientes rectos en la sección frontal por medio de dos formas de realización;

Figura 2 la configuración de la zona de base de diente en una rueda dentada con dentado simétrico según la figura 1 análogamente a la invención;

55 Figura 3 la configuración de la zona de base de diente en una rueda dentada con dentado asimétrico según la figura 1 análogamente a la invención; y

Figuras 4a y 4b dos otras formas de realización en una ampliación de las representaciones en la figura 1;

Figura 5 una representación detallada de un dentado como el que se muestra en la representación derecha de la figura 1 o en la figura 4b.

En la figura 1 se representan las magnitudes de referencia en un hueco entre dientes 1 para dos formas de realización en una sección frontal parcial perpendicularmente al eje de giro no representado de una rueda dentada con dentado exterior (en dirección del eje de giro). En este caso, como magnitudes de referencia se tienen en cuenta las coordenadas x , y , siendo el eje y al mismo tiempo el eje de simetría del hueco entre dientes 1. El eje x , más exactamente el origen del sistema de coordenadas x - y representado, debe desarrollarse a través del eje de giro no representado de la rueda dentada. En este caso, la representación de la figura 1 muestra a la izquierda del eje de simetría una forma de realización en la que el dentado según la invención no presenta ninguna protuberancia. Por el contrario, la representación a la derecha del eje de simetría muestra una forma de realización en la que se prevé una protuberancia 6. Esta última es exageradamente grande y se representa fuera de escala.

Las secciones indicadas en ambas representaciones de los dos dientes 2 están limitadas en su zona de cabeza 3 por un círculo de cabeza aquí no representado. El círculo de cabeza puede corresponder al diámetro exterior de la zona de cabeza 3. El perfil de diente 4 aquí elegido respectivamente a modo de ejemplo es una forma de flanco de diente evolvente que se utiliza respectivamente hasta un diámetro d_N del así llamado círculo de uso del flanco de diente aquí no representado del diente de una contrarrueda dentada que engrana con esta rueda dentada o de un elemento de diente. En relación con las dos formas de realización representadas en la figura 1, la sección entre el círculo de cabeza en la zona de las cabezas 3 de los dientes 2 y un círculo de uso d_N se identifica a continuación como zona de uso. Por otra parte hay que tener en cuenta el diámetro hasta el cual un diente de una contrarrueda dentada que engrana con esta rueda dentada o de un elemento de diente, se sumerge en el hueco entre dientes. Este diámetro se denomina normalmente diámetro de círculo libre d_{FR} . La zona, que en caso del dentado exterior aquí representado sigue respectivamente en dirección del centro de rueda dentada, entre el círculo de uso d_N y el punto más profundo, es decir, radialmente más interior, del hueco entre dientes 1 en el que está situado el así llamado círculo de base d_f , se denomina en adelante zona de base de diente del hueco entre dientes 1. Si se prevé un dentado interior, la zona entre el círculo de uso d_N y el punto radialmente más exterior del hueco entre dientes 1 se une al diámetro de círculo libre d_{FR} en dirección opuesta al centro de rueda dentada.

En este caso, el punto de intersección del eje de simetría γ con el círculo de base d_f es el punto de base FP del hueco entre dientes 1.

Las magnitudes hasta aquí identificadas son en todas las ruedas dentadas magnitudes comunes y habituales en las que se basa la descripción detallada a continuación de la configuración según la invención de la zona de base de diente que aquí ya se representa conforme a la invención.

Además, en las formas de realización aquí representadas del perfil de diente evolvente 4 son importantes otras magnitudes. Así, en la figura 1 se indica el así llamado círculo primitivo d_b que es relevante para la construcción de la forma de flanco 4 del dentado evolvente. Por otra parte aún hay que mencionar brevemente el módulo m , en general habitual en dentados, que resulta del diámetro de círculo parcial aquí no representado dividido por el número de dientes o de la división p dividida por el número de círculo π . Ambas formas de realización de la figura 1 muestran además un círculo principal d_H que define, junto con el círculo de cabeza, una zona principal del perfil de diente. En este caso, la zona principal es directamente adyacente a la zona de base de diente. En la representación a la izquierda de la figura 1, la zona principal corresponde a la zona de uso. De este modo el círculo principal d_H y el círculo de uso d_N coinciden. En la representación de la derecha, en cambio, forma parte de la zona principal, además de la zona secundaria, una zona de protuberancia en la que se dispone la protuberancia 6. En este caso, la zona de protuberancia se desarrolla entre el círculo de uso d_N y un círculo de protuberancia d_P situado frente a éste radialmente en el interior. Análogamente, en caso de un dentado interior, el círculo de protuberancia d_P se sitúa radialmente fuera del círculo de uso d_N . Por lo tanto, en el presente caso la zona principal está limitada radialmente hacia el interior por el círculo principal d_H que corresponde al círculo de protuberancia d_P . Aquí el círculo de protuberancia d_P puede pasar por el extremo radialmente más interior del perfil de protuberancia que puede ser, por ejemplo, una parte de un arco de círculo. Si se dispone de un dentado interno, la zona principal estaría limitada de forma análoga radialmente hacia el exterior por el correspondiente círculo principal d_H , de modo que el círculo de protuberancia d_P podría pasar por el extremo radialmente más exterior del perfil de protuberancia.

Por otra parte, en la figura 1 puede verse el diámetro o el radio que es relevante para la invención y que debe identificarse como diámetro relevante d_r . El diámetro relevante d_r en el sentido de la presente invención corresponde, si es colocado en el círculo principal d_H , al así llamado círculo de forma de dentados convencionales. En la representación izquierda de la figura 1, el diámetro relevante d_r se elige a partir de la media aritmética entre el diámetro de círculo de uso d_N y el diámetro de círculo libre d_{FR} , de manera que se cree una distancia de seguridad determinada entre el diámetro relevante d_r y el diámetro de círculo de uso d_N . De este modo se garantiza que un diente aquí no representado de un elemento de diente opuesto que engrana con la rueda dentada funcione siempre en la forma calculada del flanco de diente 4, es decir, aquí la evolvente, y no engrane de manera portante en la forma configurada según la invención del flanco en la zona de base de diente. En la representación derecha de la figura 1, el diámetro relevante d_r se elige, en el presente caso, más pequeño que el círculo de protuberancia d_P . Esto también sirve para garantizar una distancia de seguridad determinada, especialmente para la protuberancia 6. En

caso de un dentado interior, el círculo de protuberancia se elegiría de forma correspondiente más grande que el diámetro relevante. Esto puede ser así, pero no es obligatorio.

Una alternativa a la elección del diámetro relevante d_r según la figura 1 se muestra en las figuras 4a y 4b respectivamente en una sección frontal parcial. Los elementos correspondientes se dotan de referencias correspondientes. En la figura 4a puede verse que el diámetro relevante d_r coincide con el círculo principal d_H y corresponde al mismo tiempo al círculo de uso d_N . En este caso no se prevé ninguna protuberancia de forma análoga a la representación izquierda de la figura 1. No obstante, en la figura 4b una protuberancia 6 como ésta se representa exageradamente grande y fuera de escala. En el presente caso, ésta se dispone entre el círculo de uso d_N y el diámetro relevante d_r que corresponde aquí al círculo principal d_H y al mismo tiempo al círculo de protuberancia d_P .

En la figura 2 se explica con mayor detalle la forma de la base de diente en una configuración según la invención sin protuberancia en el ejemplo de un dentado exterior. Naturalmente, el dentado representado también podría realizarse como un dentado interior con o sin protuberancia. En este caso, los elementos ya citados en la figura 1 también están dotados en la figura 2 de las mismas referencias. De los diámetros explicados en la figura 1 sólo se indica en la figura 2 el diámetro relevante d_r . Como ya se ha mencionado, en el presente ejemplo de realización y por motivos de seguridad y tolerancia, el perfil de diente 4 de la zona de uso se convierte, de forma tangencialmente continua en la zona del diámetro relevante d_r en la configuración según la invención de la forma de base de diente, en la zona de base de diente. En los puntos P_0 y P_3 , también denominados puntos principales, en los que el diámetro d_r corta el perfil de diente 4, se lleva a cabo esta transición del perfil de diente evolvente 4 a una curva de Bézier 5.

Según la forma de realización de la figura 2, en la que el plano de simetría de los flancos de diente representados y adyacentes 4 se desarrolla perpendicularmente al plano del dibujo a través del eje y, la zona de base de diente también es simétrica al plano de simetría que se desarrolla a través del eje y.

En este caso, las tangentes t_1 y t_2 se cruzan con los puntos principales P_0 y P_3 en el punto de intersección S del eje de simetría y. En el presente caso, los puntos de control P_1 y P_2 están situados respectivamente en las tangentes t_1 , t_2 . En las tangentes t_1 y t_2 se sitúan otros puntos de control Q_1 adicionales Q_0 y Q_2 junto a los puntos principales P_0 y P_3 . Los puntos de control Q_0 , Q_1 y Q_2 forman respectivamente los puntos finales de las rectas representadas en una línea de trazos y puntos. En este caso, el punto de control Q_1 está situado en una recta de trazos y puntos dobles que une los puntos de control P_1 y P_2 . Los respectivos puntos principales y de control en la figura 2 se unen entre sí y se denominan polígono de control. Este último está situado en el interior de la superficie formada por las tangentes t_1 y t_2 , así como por la curva de Bézier 5.

La distancia k entre los puntos de control P_1 y P_2 y los puntos principales correspondientes P_0 y P_3 a lo largo de la tangente respectiva t_1 , t_2 se elige de manera que ésta corresponda a la siguiente relación:

$$k = (0,25 + 0,1 \times f) \times l$$

con:

$$0 < k \leq 1 \text{ y } 0 \leq f \leq 3,$$

correspondiendo l a la distancia entre el respectivo punto principal P_0 , P_3 y el punto de intersección S de las tangentes t_1 , t_2 .

Para la construcción de la curva de Bézier, como la que se indica en las figuras restantes, también se puede proceder, como ya se ha explicado antes, de acuerdo con las demás figuras.

En la representación de la figura 3 puede verse, de forma complementaria, una estructura comparable para un dentado exterior asimétrico. Naturalmente también sería posible imaginar una asimetría como ésta para dentados interiores. En cualquier caso, también podría preverse aquí una protuberancia, a pesar de no estar representada. El eje y aquí representado con una línea de trazos y puntos representaría en caso de un dentado simétrico el eje de simetría análogamente al eje y en la figura 2. También en el caso del dentado asimétrico representado, el perfil de diente 4, que aquí se configura a ambos lados del hueco entre dientes 1 respectivamente diferente, se convierte, en los puntos principales respectivos P_0 , P_3 , tangencialmente en la curva de Bézier 5. Los puntos de control P_1 , P_2 están situados a su vez en estas tangentes t_1 , t_2 que continúan virtualmente la transición tangencial en los puntos principales P_0 , P_3 , en este caso hacia abajo. En la mayoría de los casos aquí también se produce un punto de intersección S de las tangentes t_1 , t_2 , sin embargo éste no se encuentra en el eje de simetría o en el eje y, como puede verse en la representación de la figura 3, a pesar de que aquí el punto de intersección ya no se encuentra dentro de la representación.

La figura 5 muestra una vista en detalle del dentado mostrado a modo de ejemplo en la representación derecha de la figura 1 o en la figura 4b. En la figura 5 se puede reconocer la transición tangencialmente continua entre el perfil de protuberancia de la protuberancia 6 en la zona principal y la curva de Bézier 5 en la zona de base de diente en el ejemplo de un dentado exterior. La transición citada se lleva a cabo aquí en el punto principal P_0 por el que pasa el diámetro relevante d_r . En este caso, la transición se distancia del flanco de diente 2 en una sección de base libre F_S medida paralelamente al flanco de diente. Naturalmente, lo que se acaba de explicar se aplica a dentados interiores realizados de forma correspondiente.

En principio e independientemente de una forma de realización específica representada en las figuras, la curva de Bézier 5 puede representarse matemáticamente como sigue por medio del polinomio de Bernstein:

$$\vec{X}(t) = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} t^i \cdot (1-t)^{n-i} \cdot \vec{P}_i$$

En este caso \vec{P}_i son los vectores de dirección respecto a los puntos de apoyo (puntos principales y de control)

$$\vec{P}_0 = \begin{pmatrix} P_{0x} \\ P_{0y} \\ 0 \end{pmatrix} \quad \vec{P}_1 = \begin{pmatrix} P_{1x} \\ P_{1y} \\ 0 \end{pmatrix} \quad \vec{P}_2 = \begin{pmatrix} P_{2x} \\ P_{2y} \\ 0 \end{pmatrix} \quad \vec{P}_3 = \begin{pmatrix} P_{3x} \\ P_{3y} \\ 0 \end{pmatrix}$$

A las curvas de Bézier cúbicas se aplica:

$$\vec{X}(t) = \sum_{i=0}^3 \binom{3}{i} t^i \cdot (1-t)^{3-i} \cdot \vec{P}_i = (1-t)^3 \cdot \vec{P}_0 + 3t(1-t)^2 \cdot \vec{P}_1 + 3t^2(1-t) \cdot \vec{P}_2 + t^3 \cdot \vec{P}_3$$

$$\vec{X}(t) = (-\vec{P}_0 + 3 \cdot \vec{P}_1 - 3 \cdot \vec{P}_2 + \vec{P}_3) \cdot t^3 + (3 \cdot \vec{P}_0 - 6 \cdot \vec{P}_1 + 3 \cdot \vec{P}_2) \cdot t^2 + (-3 \cdot \vec{P}_0 + 3 \cdot \vec{P}_1) \cdot t + \vec{P}_0$$

Con introducción de los factores vectoriales se aplica:

$$\vec{D} = -\vec{P}_0 + 3 \cdot \vec{P}_1 - 3 \cdot \vec{P}_2 + \vec{P}_3$$

$$\vec{C} = 3 \cdot \vec{P}_0 - 6 \cdot \vec{P}_1 + 3 \cdot \vec{P}_2$$

$$\vec{B} = -3 \cdot \vec{P}_0 + 3 \cdot \vec{P}_1$$

$$\vec{A} = \vec{P}_0$$

Por consiguiente resulta la forma de parámetro de la curva de Bézier:

$$\vec{X}(t) = \vec{D} \cdot t^3 + \vec{C} \cdot t^2 + \vec{B} \cdot t + \vec{A}$$

Si se calculan todos los puntos \vec{X} para $t \in [0;1]$, resulta la curva de Bézier entre \vec{P}_0 y \vec{P}_3 con los puntos de control \vec{P}_1 y \vec{P}_2 .

A continuación se explica un ejemplo concreto para un dentado simétrico de un par de ruedas por medio de valores que se han elegido a modo de ejemplo a partir de las gamas de valores citadas. En este caso, las referencias y los símbolos de fórmula elegidos son los utilizados habitualmente y aceptados en caso de ruedas dentadas.

Una rueda dentada con un dentado según una forma de realización y su contrarrueda pueden presentar, por ejemplo, los siguientes parámetros característicos:

Rueda dentada: 1

Módulo: 4

Número de dientes: 50

Ángulo de engrane: 20°

Factor de desplazamiento de perfil: 0,2

Contrarrueda: 2

Módulo: 4

Número de dientes 35

Ángulo de engrane 20°

Factor de desplazamiento de perfil: 0.321

Distancia entre ejes: 172 mm

Comparación: dentado según DIN 867

Contorno de fresado por generación sin protuberancia

Factor de altura de cabeza $h_{aP0} = 1.389$

Factor de redondeo de cabeza $\rho_{\alpha P_0} = 0.25$

Sobremedida para el mecanizado de herramienta, es decir, acabado: 0.0

(* indica: en función del módulo)

Diámetro de círculo de uso: $d_{r1} = 195.617\text{mm}$

5 Diámetro de círculo de base: $d_{r1} = 189.179\text{ mm}$

Diámetro de transición curva de Bézier evolvente, esto corresponde al diámetro relevante d_r : $d_{r1} = 193.48\text{ mm}$

A partir de estos datos es fácil determinar el punto de transición de la zona de uso a la zona de base de diente del dentado con origen del sistema de coordenadas en el punto central de la rueda dentada con el centro de huecos entre dientes en el eje y.

10 Ángulo de engrane en el diámetro de transición: $\alpha_{t1} = 14.796^\circ$

Para la determinación de la curva de Bézier aún falta el punto de control. En el diámetro de transición se define respectivamente, tanto en el flanco izquierdo como en el derecho, el punto de transición, aquí denominado punto principal P_0 o P_3 (en caso de dentado simétrico simétricamente al eje y). En ambos puntos principales se aplica a la evolvente una tangente t_1, t_2 . El punto de intersección de las tangentes t_1, t_2 en el flanco izquierdo con las del flanco derecho da como resultado el punto de intersección S.

15 Los dos puntos de control P_1 y P_2 pueden estar situados teóricamente en cualquier punto de las rectas $\overline{P_0 S}$ o $\overline{P_3 S}$, definiéndose como parámetro de marcha la variable $k \in [0; 1]$.

Conforme a la determinación de puntos se elabora con el polinomio de Bernstein una ecuación cúbica en una notación vectorial:

20
$$\vec{X}(t) = \vec{D} \cdot t^3 + \vec{C} \cdot t^2 + B \cdot t + \vec{A}$$

con:

$$D = \begin{pmatrix} -3.578 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} 5.368 \\ 6.639 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 1.754 \\ -6.639 \end{pmatrix}$$

25
$$A = \begin{pmatrix} -1.771 \\ 96.724 \end{pmatrix}$$

Esto genera la curva de Bézier.

El resultado de este cálculo constituye una mejora de aproximadamente un 35% en comparación con el dentado convencional y un ahorro de cálculo de hasta 25 cálculos en comparación con el dentado mencionado al principio con función tangente y arco circular.

30 La fabricación de estas ruedas dentadas se puede realizar, por ejemplo, mediante dispositivos de fresado o rectificadas que se pueden mover libremente y programar libremente en varios ejes o mediante el fresado helicoidal adecuado derivado de la forma de la base de diente según la invención.

REIVINDICACIONES

1. Dentado de una rueda dentada con una pluralidad de dientes;
 1.1 cuyos flancos de diente (2, 4) presentan una zona principal (3) y una zona de base de diente;
 5 1.2 extendiéndose la zona de base de diente, vista en sección frontal o sección normal a través del eje de giro de la rueda dentada, desde un círculo de base (FP) hasta un círculo principal (d_H); caracterizado por que (visto respectivamente en sección frontal o sección normal)
 1.3 los flancos de diente en la zona de base de diente a partir de un diámetro relevante (d_r) en dirección hacia el círculo de base se configuran como curva de Bézier (5);
 10 1.4 la curva de Bézier en el diámetro relevante (d_r) en un punto principal (P_0, P_3) se convierte de forma tangencialmente continua en el perfil de diente de la zona principal.
2. Dentado según la reivindicación 1, caracterizado por que la zona principal coincide con una zona de uso que comprende la zona del dentado y que se desarrolla desde un círculo de cabeza hasta un círculo de uso (d_N) del dentado.
 15
3. Dentado según la reivindicación 1, caracterizado por que el dentado se realiza como dentado exterior y por que en caso de prever una protuberancia (6), que comprende un perfil de protuberancia, la zona principal presenta una zona de uso que comprende la zona del dentado que se desarrolla desde un círculo de cabeza hasta un círculo de uso (d_N) del dentado, comprendiendo la zona principal, adicionalmente a la zona de uso, una zona de protuberancia en la que se dispone la protuberancia (6), desarrollándose la zona de protuberancia entre el círculo de uso (d_N) y un círculo de protuberancia (d_P) dispuesto radialmente dentro del círculo de uso (d_N).
 20
4. Dentado según la reivindicación 1, caracterizado por que el dentado se realiza como dentado interior y por que en caso de prever una protuberancia (6), que comprende un perfil de protuberancia, la zona principal presenta una zona de uso que comprende la zona del dentado que se desarrolla desde un círculo de cabeza hasta un círculo de uso (d_N) del dentado, comprendiendo la zona principal, adicionalmente a la zona de uso, una zona de protuberancia en la que se dispone la protuberancia (6), desarrollándose la zona de protuberancia entre el círculo de uso (d_N) y un círculo de protuberancia (d_P) dispuesto radialmente fuera del círculo de uso (d_N).
 25
5. Dentado según la reivindicación 3 ó 4, caracterizado por que la transición tangencialmente continua entre el perfil de protuberancia y la curva de Bézier se separa del flanco de diente en una sección de base libre (F_S).
 30
6. Dentado según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que el diámetro relevante (d_r) coincide con el círculo principal (d_H).
 35
7. Dentado según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que la curva de Bézier presenta al menos dos puntos de control (P_1, P_2) situados en la zona de base de diente respectivamente en una tangente (t_1, t_2) en el punto principal (P_0, P_3).
 40
8. Dentado según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que la curva de Bézier es una curva de Bézier de tercer o mayor grado, especialmente una curva de Bézier cúbica, que comprende exactamente dos puntos de control (P_1, P_2) de los que uno de ellos se sitúa en la tangente correspondiente (t_1, t_2) que se desarrolla a través del punto principal (P_0, P_3), calculándose la distancia (k) de cada uno de los puntos de control (P_1, P_2) respecto a su punto principal (P_0, P_3) en la tangente (t_1, t_2) de la manera que sigue a continuación:
 45
$$k = (0,25 + 0,1 \times f) \times l$$
 con:

$$0 < k \leq 1 \text{ y } 0 \leq f \leq 3,$$
 correspondiendo l a la distancia entre uno de los puntos principales (P_0, P_3) y el punto de intersección (S) de las tangentes (t_1, t_2).
 50
9. Dentado según la reivindicación 8, caracterizado por que el factor f es preferiblemente de entre 0,5 y 1,5.
10. Dentado según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que los flancos de diente de los dientes adyacentes en la sección frontal o la sección normal se configuran respectivamente simétricos entre sí, cortando el eje de simetría (y) el círculo de base en el punto de base y desarrollándose las tangentes (t_1, t_2) simétricamente al eje de simetría (y) y, en caso de prever un dentado exterior, cruzándose radialmente dentro y, en caso de prever un dentado interior, radialmente fuera del diámetro relevante (d_r) en un punto de intersección (S).
 55
11. Dentado según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que los flancos de diente de los dientes adyacentes en la sección frontal o la sección normal se configuran respectivamente asimétricos entre sí.
 60
12. Dentado según una de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado por que la curva de Bézier presenta un polígono de control, estando situado todo el polígono de control, que une entre sí los puntos principales (P_0, P_3), así como los

al menos dos puntos de control (P_1, P_2), dentro de la superficie formada por las tangentes (t_1, t_2) y la curva de Bézier (5).

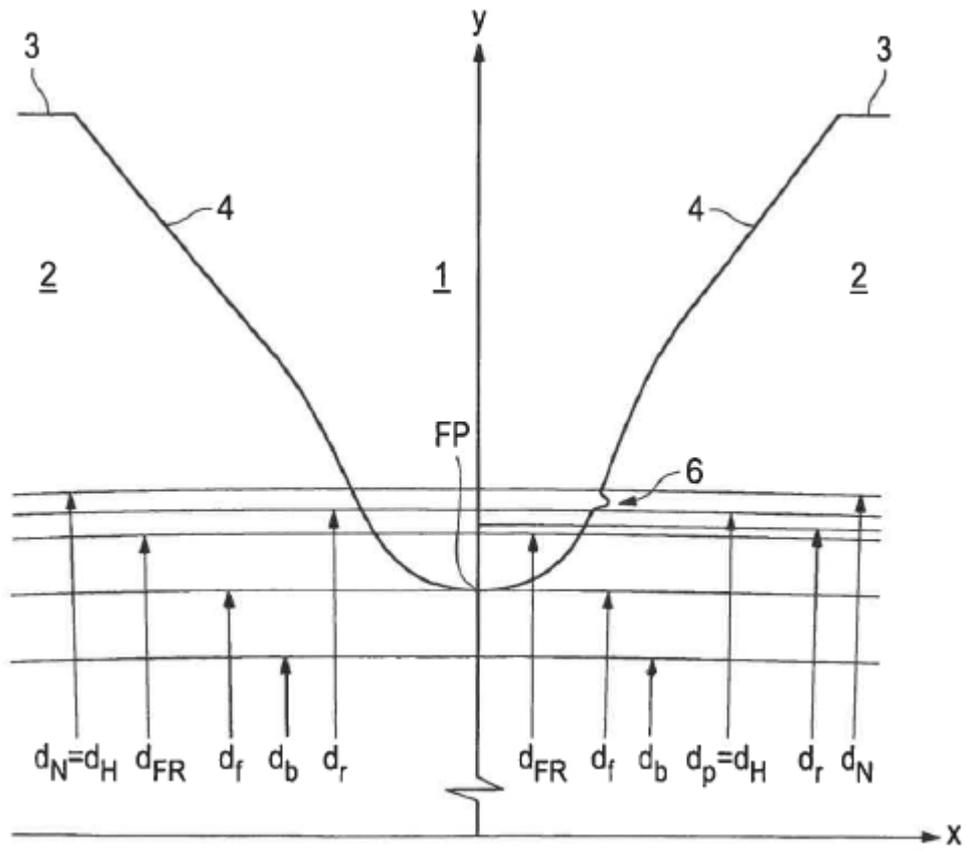


Fig. 1

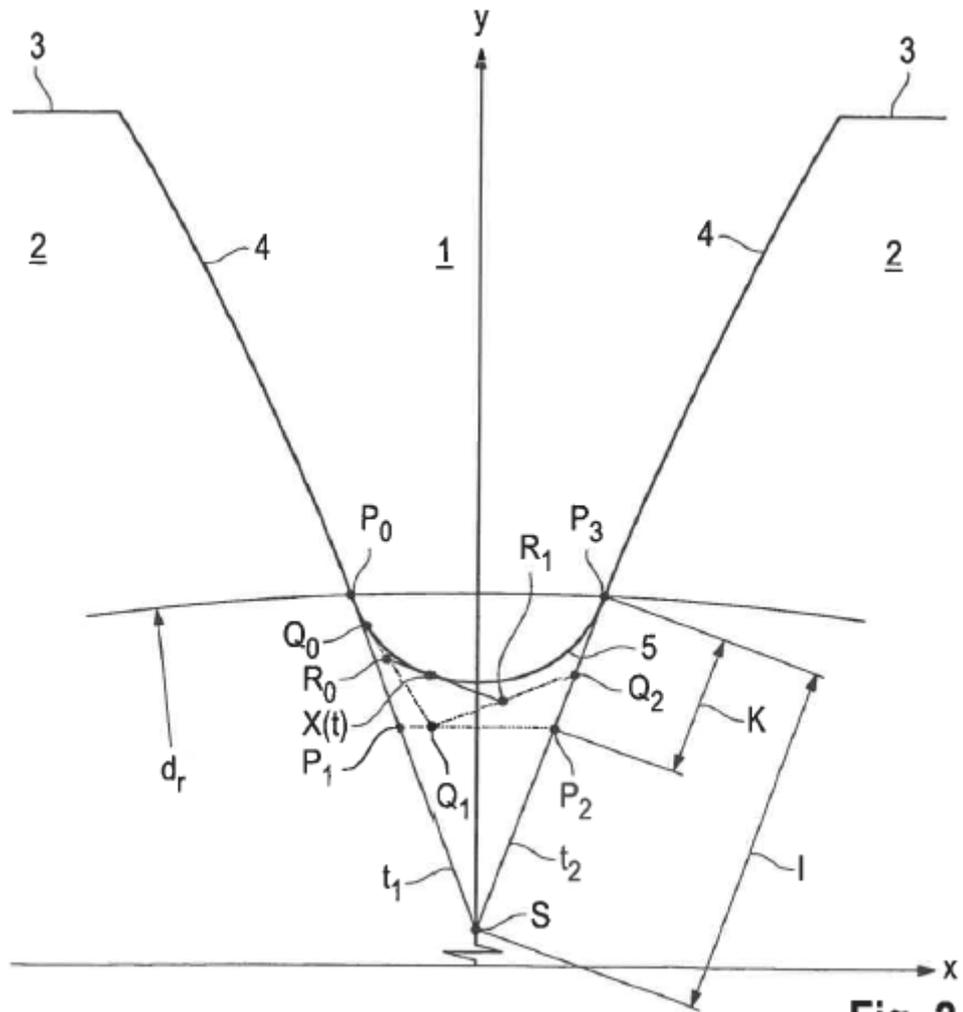


Fig. 2

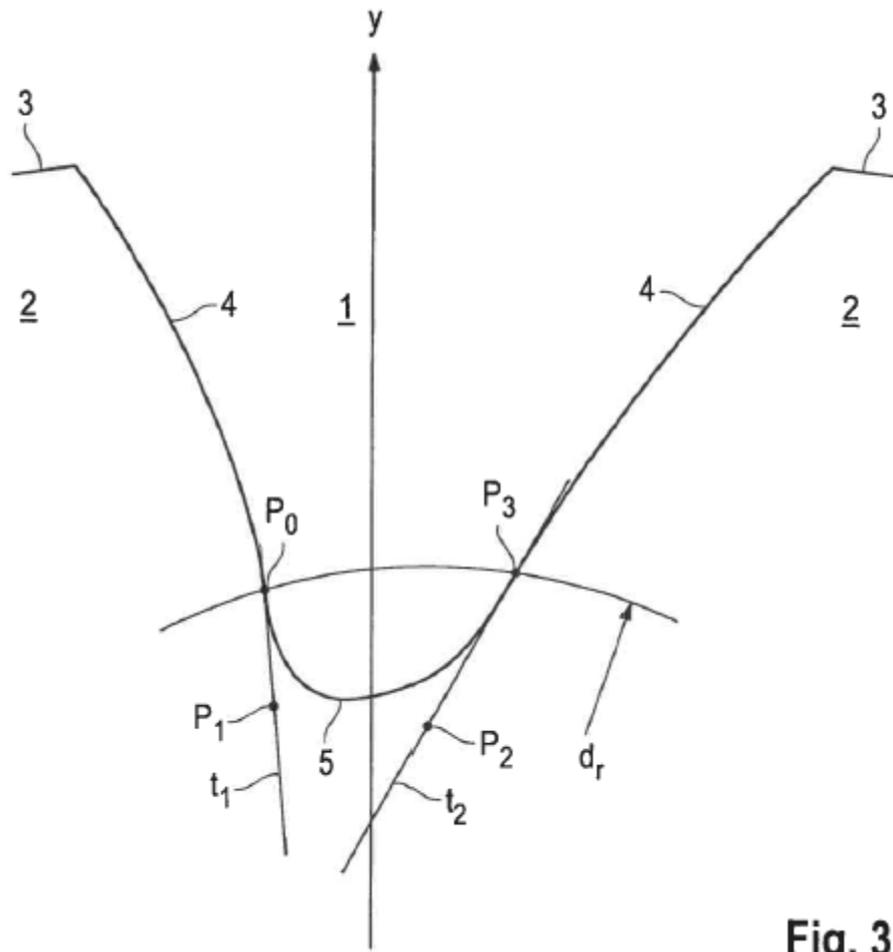


Fig. 3

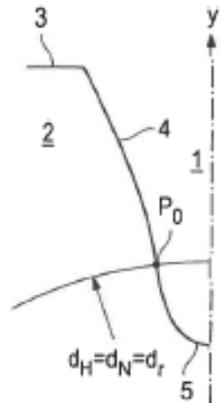


Fig. 4a

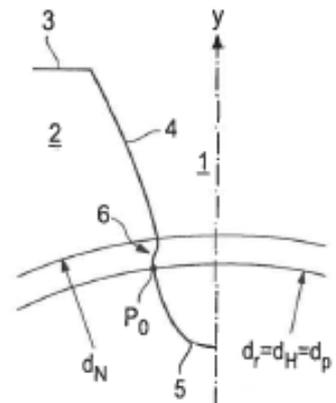


Fig. 4b

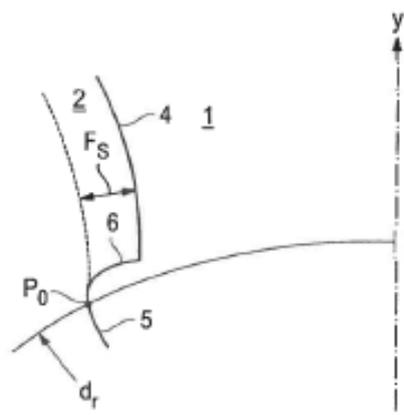


Fig. 5