



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101868656 B

(45) 授权公告日 2013. 10. 30

(21) 申请号 200980101074. 1

(22) 申请日 2009. 07. 21

(30) 优先权数据

1020080453188 2008. 09. 02 DE

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 05. 21

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2009/005270 2009. 07. 21

(87) PCT申请的公布数据

W02010/025791 DE 2010. 03. 11

(73) 专利权人 沃依特专利有限责任公司

地址 德国海登海姆

(72) 发明人 马蒂亚斯·埃佐尔德

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限

责任公司 11240

代理人 吴贵明 李慧

(51) Int. Cl.

F16H 55/08 (2006. 01)

(56) 对比文件

WO 2006/038901 A1, 2006. 04. 13,

WO 2007/118522 A1, 2007. 10. 25,

CN 101191547 A, 2008. 06. 04,

CN 1260032 A, 2000. 07. 12,

CN 201090709 Y, 2008. 07. 23,

审查员 仇宇

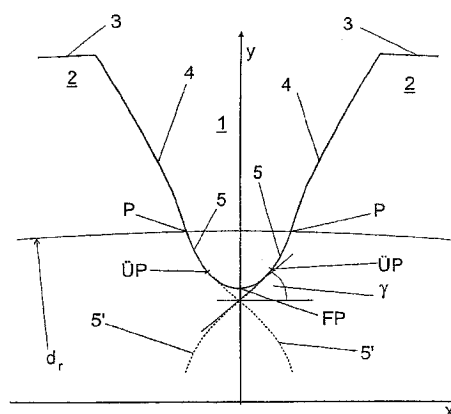
权利要求书2页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

齿轮的齿部

(57) 摘要

本发明涉及一种具有多个齿的齿轮的齿部。齿轮具有各自齿面形状的有效部位和齿根部位。在法向截面中看, 齿根部位从齿根圆一直延伸至有效圆。在法向截面中相邻的齿的齿面分别设计成彼此对称的, 其中对称轴线在齿根点中与齿根圆相交。根据本发明, 齿根部位中的齿面自一个重要的直径起设计成正切函数。正切函数在重要的直径处连续正切地转入有效部位的齿面形状。正切函数在齿根部位中连续正切地转入圆形轨迹, 该圆形轨迹在齿根点中正切地抵靠在齿根圆上。因此可以实现齿根强度的大幅提高。



1. 一种具有多个齿的齿轮的齿部；
所述齿部的齿面具有有效部位和齿根部位；其中
所述齿根部位在法向截面中看，从齿根圆一直延伸至有效圆；
在所述法向截面中相邻的齿的所述齿面分别设计成彼此对称的，其中
对称轴线(y)与所述齿根圆在齿根点中相交；其特征在於，分别在所述法向截面中看：
所述齿根部位中的所述齿面自一个重要的直径(d_f)起，在齿轮中点的方向上设计成正切函数；
所述正切函数在所述重要的直径(d_f)处连续正切地转入所述有效部位的齿面形状；
所述正切函数在所述齿根部位中连续正切地转入圆形轨迹，所述圆形轨迹在所述齿根点(FP)中正切地抵靠在所述齿根圆(d_f)上。
2. 根据权利要求1所述的齿部，其特征在於，
超出所述圆形轨迹而延长的所述正切函数与所述对称轴线(y)成 $90^\circ - \gamma$ 的上升角相交；其中
 γ 选择小于 65° 。
3. 根据权利要求1所述的齿部，其特征在於，
超出所述圆形轨迹而延长的所述正切函数与所述对称轴线(y)成 $90^\circ - \gamma$ 的上升角相交；其中
 γ 选择小于 50° 。
4. 根据权利要求1所述的齿部，其特征在於，
超出所述圆形轨迹而延长的所述正切函数与所述对称轴线(y)成 $90^\circ - \gamma$ 的上升角相交；其中
 γ 选择小于 45° 。
5. 根据权利要求2至4中任一项所述的齿部，其特征在於， γ 取决于齿数 z 和所述齿面形状在所述重要的直径(d_f)上的啮合角 α_r ，通过关系式 $45^\circ - 180^\circ / z - \alpha_r$ 来选择。
6. 根据权利要求5所述的齿部，其特征在於，所述齿面形状在所述重要的直径(d_f)上的所述啮合角 α_r 选择为大于或等于 4° 。
7. 根据权利要求6所述的齿部，其特征在於，所述齿面形状在所述重要的直径(d_f)上的所述啮合角 α_r 选择为大于 7° 。
8. 根据权利要求1至4中任一项所述的齿部，其特征在於，所述圆形轨迹的半径选择为0.1-0.6倍的模数。
9. 根据权利要求1至4中任一项所述的齿部，其特征在於，所述圆形轨迹的半径选择为0.3-0.4倍的模数。
10. 根据权利要求1至4中任一项所述的齿部，其特征在於，所述圆形轨迹的半径选择为在所述重要的直径(d_f)上的齿槽宽度(S_L)的0.1-0.6倍。
11. 根据权利要求1至4中任一项所述的齿部，其特征在於，所述圆形轨迹的半径选择为在所述重要的直径(d_f)上的齿槽宽度(S_L)的0.3-0.4倍。
12. 根据权利要求1至4中任一项所述的齿部，其特征在於，所述重要的直径(d_f)小于或等于所述有效圆的直径。
13. 根据权利要求1至4中任一项所述的齿部，其特征在於，所述重要的直径(d_f)选择

为在所述有效圆的直径和自由圆的直径之间的算术平均值。

14. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的齿部,其特征在于,所述齿面形状在所述有效部位中设计成渐开线。

15. 根据权利要求 14 所述的齿部,其特征在于,所述重要的直径(d_t)选择为大于或等于基圆的直径。

齿轮的齿部

技术领域

[0001] 本发明涉及一种具有多个齿的齿轮的齿部,并且是根据在权利要求 1 的前序部分中详细规定的种类。

背景技术

[0002] 由 DE 10 2006 015 521 B3 已知了一种渐开的滚切 (**wälzverzahnt**) 齿轮的齿部。所述专利文件的核心尤其是研究了所谓的齿根部位,也就是将渐开的滚切齿轮的各个齿相互连接起来的部位。在所述专利文件中为了在两个运行方向上提供对称的可运行的齿部,将齿根部位设计为,即该部位相比于通常的滚铣 (**wälzgefraest**) 倒圆而成椭圆形倒圆。这样的齿轮通过齿根部位的椭圆形倒圆,比具有径向倒圆的齿轮具有更高的承载能力。

发明内容

[0003] 基于这种已知的背景技术,本发明的目的是为滚切齿轮提供一种齿部 (Verzahnung),该齿部可以进一步提高齿根部位中的强度,从而使齿轮可以在相同强度的情况下设计得更小或者在可比较的结构尺寸的情况下设计具有明显提高的强度。

[0004] 该目的根据本发明通过在权利要求 1 的特征部分中所述的特征来实现。

[0005] 对于发明者来说已经令人惊奇地表明:具有一种正切函数 (Tagensfunktion) 的齿根部位的结构形状可以大大提高齿根强度,该正切函数连续正切地来自于有效部位的位于其上的齿面形状,而且正切函数自身又连续正切地转入圆形轨迹,该圆形轨迹又正切地抵靠在齿轮的齿根圆上。

[0006] 由发明者所进行的试验业已表明:相比于通常的滚铣齿轮来说,齿根的计算的强度的提高达到 30%,这可以通过齿轮在圆形轨迹和有效部位中齿面形状之间的正切函数的介入来实现。

[0007] 由于两个相邻的齿的齿面彼此对称布置,因此可以求出其中一个齿面形状,然后通过对称轴线处的镜像将该齿面形状传输到对面的部位上。由于圆形轨迹在齿根点处正切地抵靠在齿根圆上并且对称轴线经过该齿根点走向,那么可以利用正切函数与直至齿根点的圆形轨迹的简单组合并进而利用这两个函数的镜像来设计使得整个齿根部位的强度提高。

[0008] 这些函数性可以在法向截面上以所列的种类分别简单而有效地求出,这是因为函数相互的转入可以用数学方式表示,因此通过结构情况来选择圆形轨迹的仅一个角度和半径。这样形成的齿轮的齿根部位的或者说齿槽的形状然后可以被传输到齿轮中不同的齿的法向截面上。因此例如直的、斜的或者弧形走向的端面齿部同样也适合于齿根部位的根据本发明的结构形状和与之相联系的强度的提高,正如例如锥齿轮的或者其它型式的齿轮的齿部那样。

[0009] 根据本发明的齿根的设计方案原则上当然也可以考虑用于齿条、锥齿轮、斜面体齿轮 (**Beveloidräder**)、冠齿轮、螺旋齿轮或者蜗轮,其中齿根形状则可以在各自的法向

截面中确定,并且例如在单头和多头蜗轮的情况下则在作为整体展开的齿的长度上,自然地基于齿本身的典型地发生变化的几何形状,也就是说例如齿高和齿宽,而相应地发生变化。

[0010] 一种根据本发明的齿部也就是说原则上可以在不同的齿轮的情况下和在设置有齿的元件的情况下实现。也可以考虑与有效部位中任意的齿面形状相组合。

[0011] 然而特别优选的是应用一种在有效部位中设计成滚动曲线(渐开线或者球面渐开线)的齿面形状,尤其是一种渐开线的齿面形状。当前在机械制造中通常使用类型的齿部特别良好地适于根据本发明的设计方案的齿根部位。在这样的渐开线切齿的齿轮中已经得知,通过齿根部位的新型结构形式可以最大限度地提高强度。

附图说明

[0012] 以下根据附图在一个实施例中说明了新的齿根形状的外形和函数性,例如是一种渐开线切齿的齿轮,在法向截面中的齿上或者说齿槽上。齿根部位的这种设计方案,正如已经详细说明的那样,然而原则上也可以被用于不同类型的齿轮和齿部。

[0013] 附图所示为:

[0014] 图 1:法向截面中的具有端面齿部的渐开线切齿的齿轮;

[0015] 图 2:在根据图 1 类似于本发明的齿轮中的齿根部位的设计方案;

[0016] 图 3:用于求出对于根据本发明的齿根部位设计方案所必须的函数的数学参量的详图。

具体实施方式

[0017] 图 1 示出了在法向截面中的齿槽 1。坐标 x, y 表示为基准参量,其中 y -轴线同时是齿槽 1 的对称轴线。两个齿 2 的所示出的部段在其顶部部位 3 中通过一个在这里未示出的顶圆限制住。这里举例选择的齿面形状 4 是渐开线的齿面形状,其直到所谓的有效圆的直径 d_N 为止都是被与该齿轮啮合的对置齿轮或者说齿件的齿的在这里未示出的齿面所利用。在齿 2 的顶部 3 的部位中的顶圆和有效圆 d_N 之间的这个部段在下面被称为有效部位。此外还要指出最深处的直径,一直到这个直径,与该齿轮啮合的对置齿轮或者说齿件的齿都没入到齿槽中。该直径典型地称为自由圆直径 d_{FR} 。

[0018] 接下来在齿轮中点(Zahnradmitte)的方向上紧接着的部位在有效圆 d_N 和齿槽 1 的最低点之间(所谓的齿根圆 d_F 位于该齿槽中),以下将该部位称为齿槽 1 的齿根部位。对称轴线 y 与齿根圆 d_F 的交点是齿槽 1 的齿根点 FP。

[0019] 至此所说明的参量在所有齿轮中都是通用和通常的参量,以下对于根据本发明的齿根部位的设计方案的详细说明都以这些参量为基础,该齿根部位在这里已经以根据本发明的样式和方式示出。

[0020] 此外在这里示出的渐开线的齿面形状 4 的实例中,另外一些参量是十分重要的。因此在图 1 中标出了所谓的基圆 d_b ,其对于渐开线的齿部的齿面形状 4 的结构设计很重要。除此之外还要简略提到在齿部中一般常用的模板 m ,其由在这里未示出的分度圆直径除以齿数,或者说齿距 p 除以圆周率 π 而得出。

[0021] 此外在图 1 中还可以见到对于本发明十分重要的并应该被称为重要的直径 d_F 的

直径或半径。这个重要的直径 d_t 在这里示出的实施例中描述了在有效部位中的齿面形状 4 转入根部部位的根据本发明的齿面形状的过渡部。这种过渡部在传统的齿部中也称为型圆 (Formkreis)。该重要的直径理论上可以等于有效圆 d_N 的直径。然而其一般选的略小些, 以便确保在齿轮的加工公差和支承公差方面的合理的安全性。在这里所示的实施例中, 重要的直径 d_t 由在有效圆直径 d_N 和自由圆直径 d_{FR} 之间的算术平均值来选出, 从而在重要的直径 d_t 和有效圆直径 d_N 之间形成一定的安全距离。因此确保了: 与该齿轮啮合的对置齿件的在这里未示出的齿在任何情况下都按齿面 4 的计算出的形状, 这里也就是按渐开线, 而发生变化, 并且不是按照在齿根部位中的齿面的根据本发明所设计的形状而承载地啮合。

[0022] 在图 2 中详细说明了在根据本发明的设计方案中齿根的形状。已在图 1 中提到的元件在图 2 中也用相同的标号表示。从图 1 中已说明的直径中, 在图 2 中仅还标出了重要的直径 d_t 。如前所述, 有效部位的齿面形状 4 在本实施例中, 出于安全性和公差所限定的原因, 在重要的直径 d_t 的部位中连续正切地 (tangente stetig) 转入齿根部位的根据本发明的设计方案的齿根形状。在点 P 处, 直径 d_t 与齿面 4 相交, 在该点处实现了从渐开线的齿面形状 4 转入在齿面形状的用 5 标注的部位的正切函数中。在图 2 中, 在齿面形状的部位 5 中走向的正切曲线在齿轮中点的方向上, 也就是说坐标的起始处的方向上延长。正切函数 5' 的这个部段在位于齿根点 FP 以下的部位中与 y 轴线相交。在该与 y 轴线的交点处, 也就是说在数学条件 $x = 0$ 时, 正切曲线在截面中与对称轴线 y 有一个相应的上升角。该上升角相对于 x 轴线来说在图 2 中称为角 γ 。相对于对称轴线 y 本身来说, 由此得出该角为 $90^\circ - \gamma$ 。该角 γ 对于以后还要说明的设计结构或选择的具体的正切函数来说有重要意义。

[0023] 此外可以见到: 正切函数在过渡点 $\ddot{U}P$ 处转入圆形轨迹 6。这种过渡也是形成在连续正切地在圆形轨迹 6 和正切曲线 5 的所使用 的部位之间。圆形轨迹 6 则在齿根点 EP 中正切地抵靠在齿根圆 d_f 上, 也就是说抵靠在齿根圆 d_f 与对称轴线 y 的交点处。

[0024] 涉及到在齿轮中心的坐标中点的正切曲线的数学函数以及分别对称于各自齿槽 1 走向的对称轴线 y 按以下方程式来表示:

$$[0025] \quad y(x) = a \cdot \tan(b \cdot x) + c$$

[0026] (方程式 1)

[0027] 为了能够明确地确定该函数, 需要三个边界条件, 它们按照如下方法来确定:

[0028] (1) 从渐开线至正切函数的过渡是连续正切的 (tangente stetig)。

[0029] (2) 在与对称轴线 y 的交点处 (也就是在 $x = 0$ 时) 正切函数的上升角通过角 γ 来确定。该角可以在一定的结构界限中在以后自由地选择, 对此以下还要详细加以说明。

[0030] (3) 从渐开线至正切函数的过渡点位于重要的直径 d_t 上, 该直径本质上 (im Kern) 可以任意地选择, 然而任何情况下都应小于有效圆直径 d_N , 如上面已经描述的那样。

[0031] 接着该正切曲线的圆形轨迹 6 以一般的形式按以下方程式得出:

$$[0032] \quad r^2 = (x-e)^2 + (y-f)^2$$

[0033] (方程式 2)

[0034] 半径 r 在此可以任意选择。中点应该位于对称轴线 y 上, 也就是坐标系统的纵坐标上。因此得出值 $e = 0$ 。此外对于圆方程式还需要另外的边界条件:

[0035] (4) 在过渡点 $\ddot{U}P$ 处至正切函数的过渡是连续正切的 (tangente stetig)。

[0036] 齿根部位中的齿面形状在下面用数学方式一般性地示出,其中重要的参量,如果它们还没有由以前的附图加以说明,则由图3给出。首先确定了渐开线的连接点P的坐标。

[0037] 这个点位于直径 d_r 上。为了确定齿槽宽度 S_L (弦),需要弧度衡量的齿厚度 S_r ,该齿厚度按如下方法确定(其中 S = 分度圆上的齿厚度; d = 分度圆直径):

$$[0038] \quad s_r = d_r \left(\frac{s}{d} + \text{inv} \alpha - \text{inv} \alpha_r \right) \quad (\text{方程式 3})$$

[0039] α_r 是在直径 d_r 上的啮合角。啮合角 α_r 通过渐开线的选择隐含地一起规定。业已表明,根据本发明的强度升高出现在自啮合角 α_r 从 4° 至 5° 起。啮合角 α_r 因此在任何情况下都应该选择大于 4° , 优选大于 7° 。相反 α 表示了在分度圆上的啮合角,其在大多数齿轮中典型地在 15° - 25° , 优选在 20° 。

[0040] 弧度中的齿槽宽度 S_L 按下式求出:

$$[0041] \quad S_L = \pi \cdot \frac{d_r}{z} - s_r \quad (\text{方程式 4})$$

[0042] 由此可以计算出齿槽宽度(弦)的长度:

$$[0043] \quad S_L = d_r \cdot \sin \frac{S_L}{d_r} \quad (\text{方程式 5})$$

[0044] 点P的x坐标也就为:

$$[0045] \quad x_P = \frac{1}{2} S_L \quad (\text{方程式 6})$$

[0046] y 坐标按毕达哥拉斯方法得出:

$$[0047] \quad y_P = \sqrt{\left(\frac{d_r}{2}\right)^2 - \left(\frac{S_L}{2}\right)^2} \quad (\text{方程式 7})$$

[0048] 为了确保在点P处的正切曲线的连续性,必须了解渐开线在点P处的上升角 φ 。该角由啮合角 α_r 和齿槽开口角的一半共同组成:

$$[0049] \quad \hat{\varphi} = \frac{\pi}{2} - \left(\hat{\alpha}_r + \frac{S_L}{d_r} \right) \quad (\text{方程式 8})$$

[0050] 现在,可以用边界条件来确定系数a和b以及加数c。由边界条件(1)得出:

$$[0051] \quad y' \left(x = \frac{S_L}{2} \right) = \tan \varphi \quad (\text{方程式 9})$$

[0052] 由边界条件(2)得出:

$$[0053] \quad y' (x = 0) = \tan \gamma$$

[0054] (方程式 10)

[0055] 由边界条件 (3) 得出：

$$[0056] \quad y\left(x = \frac{S_L}{2}\right) = \sqrt{\left(\frac{d_r}{2}\right)^2 - \left(\frac{S_L}{2}\right)^2} \quad (\text{方程式 11})$$

[0057] 因此对于 a, b 和 c 得出：

$$[0058] \quad a = \frac{S_L}{2} \cdot \frac{\tan \gamma}{\arccos \sqrt{\frac{\tan \gamma}{\tan \varphi}}} \quad (\text{方程式 12})$$

$$[0059] \quad b = \frac{2}{S_L} \cdot \arccos \sqrt{\frac{\tan \gamma}{\tan \varphi}} \quad (\text{方程式 13})$$

$$[0060] \quad c = \sqrt{\left(\frac{d_r}{2}\right)^2 - \left(\frac{S_L}{2}\right)^2} - a \cdot \tan\left(b \cdot \frac{S_L}{2}\right) \quad (\text{方程式 14})$$

[0061] 角 γ 可以相应地选择。为了实现相比于传统的齿部的改进,其在任何情况下都应该选择小于 65° 。然而最佳值最接近 45° 或在 45° 以下。业已证实为特别优选的是,按照方程式 15 的以下关系来选择角,其中在围绕该 γ -值 $\pm 20\%$ 的公差范围中可以获得良好的结果。

$$[0062] \quad \gamma = 45^\circ - \frac{180^\circ}{z} - \alpha_r \quad (\text{方程式 15})$$

[0063] 通常的圆方程式首先必须表示成 $g(x)$ 形式。

$$[0064] \quad g(x) = \pm \sqrt{r^2 - (x - e)^2} + f \quad (\text{方程式 16})$$

[0065] 因为圆的中点在 y 轴线上,则可设置成 $e = 0$ 。需要有下列的圆弧,因此平方根的符号必须是负的,因此：

$$[0066] \quad g(x) = -\sqrt{r^2 - x^2} + f \quad (\text{方程式 17})$$

[0067] 那么现在可以确定 d。由边界条件 (4) 得出以下关系。正切函数和圆函数的导数必须在过渡点 $\ddot{U}P$ 处的过渡位置上在 $x_{\ddot{U}}$ 处成同样大小。

$$[0068] \quad g'(x_{\ddot{U}}) = y'(x_{\ddot{U}}) \quad (\text{方程式 18})$$

[0069] 由此得出一个方程式,用该方程式可以用数字方式来确定过渡位置 $x_{\ddot{U}}$ ：

$$[0070] \quad 0 = \frac{\cos^4(b \cdot x_{\ddot{U}})}{(a \cdot b)^2} - \frac{r^2}{x_{\ddot{U}}^2} + 1 \quad (\text{方程式 19})$$

[0071] 用 x_0 现在可以确定加数 f 。为此使这两个函数在位置 x_0 处相等。

[0072]
$$a \cdot \tan(b \cdot x_0) + c = -\sqrt{r^2 - x_0^2} + f \quad (\text{方程式 20})$$

[0073] 对于 f 最后得出：

[0074]
$$f = a \cdot \tan(b \cdot x_0) + c + \sqrt{r^2 - x_0^2} \quad (\text{方程式 21})$$

[0075] 齿槽的几何形状在齿根部位中也就一般可以如下表达：

[0076]

x- 部位	函数
$-\frac{S_L}{2} \leq x \leq -x_0$	$y(x) = a \cdot \tan(-b \cdot x) + c$
$-x_0 < x < x_0$	$g(x) = -\sqrt{r^2 - x^2} + f$
$x_0 \leq x \leq \frac{S_L}{2}$	$y(x) = a \cdot \tan(b \cdot x) + c$

[0077] 其中： a 按方程式 (12)；

[0078] b 按方程式 (13)；

[0079] c 按方程式 (14)；

[0080] d 按方程式 (21)；

[0081] x_0 按方程式 (19)。

[0082] 用于负自变量的函数在这里可以简单地通过反射在纵坐标上得到，这是因为该纵坐标同时也是齿槽 1 的对称轴线 Y 。

[0083] 正如由上面详细叙述的数学关系中可得到地，现在通过一种这样的齿根形状的设计人员只能选择角度 γ 以及圆形轨迹 6 的半径 r 。为了理想地选择角度 γ ，上面用方程式 (15) 已经产生了一种相应的推荐意见。

[0084] 对于圆形轨迹 6 的半径 r 来说，位于模数 m 的 0.1-0.6 倍范围中的值业已表明是适合的。该值优选在模数 m 的 0.3-0.4 倍范围中。如果涉及到作为弦的齿槽宽度 S_L 的距离，那么可以实现进一步的改进。对于半径 r 来说，在齿槽宽度 S_L 的 0.1-0.6 倍范围中的值业已表明为适合的。该值优选地在齿槽宽度 S_L 的 0.3-0.4 倍范围中。在以下实例中是基于半径为 $r = 0.3 \cdot S_L$ 计算的，该值可以尽可能选择作为特别优选的值。

[0085] 基于这些值，有限元法 (FEM)- 计算可以实现，相比于传统的齿根形状提高了直至 30% 的齿根强度。

[0086] 以下说明了参照示范地从所述的数值范围中选出来的值的一个实例。所选的标记名称和公式符号都是在齿轮中通常使用的和公认的。

[0087] 齿轮 I 具有以下特征值：

[0088] 模数 $m = 4\text{mm}$

[0089] 齿数 $z_1 = 53$

[0090] 齿廓变位 $x_1 = 0$

[0091] 分度圆 α 上的啮合角 $\alpha = 20^\circ$

[0092] 为了确定齿轮 I 的有效圆直径 d_N 和自由圆直径 d_{FR} ，与齿轮 I 啮合的第二齿轮 II

的特征值和齿轮 I, II 之间的轴距是必需的。

[0093] 齿数 $z_2 = 19$

[0094] 齿廓变位 $x_2 = 0.6$

[0095] 轴距 $a = 146.4\text{mm}$

[0096] 一种滚铣的齿轮变体被用来作比较。根部形状用一种具有以下特征值的滚刀来产生：

[0097] 齿顶高系数 $h_{aP0}^* = 1.3889$

[0098] 齿顶倒圆系数 $\rho_{aP0}^* = 0.25$

[0099] (如通常那样并通过 * 表示分别涉及模数 m)

[0100] 凸角角度 (Protuberanzwinkel) $\alpha_{pm0} = 10^\circ$

[0101] 凸角数值 (Protuberanzbetrag) $p_{m0} = 0.26\text{mm}$

[0102] 在磨削之前的加工余量选用 $q = 0.16\text{mm}$, 相应地得出剩余凸角数值为 0.1mm 。

[0103] 对于这种齿部来说有以下的输入参量用于计算齿根曲线：

[0104] 有效圆直径 $d_{N1} = 207.764\text{mm}$

[0105] 自由圆直径 $d_{FR} = 204.000\text{mm}$

[0106] 渐开线 - 正切函数的过渡处的直径 (由 d_{N1} 和 d_{FR} 的算术平均) : $d_r = 205.88\text{mm}$

[0107] d_r 上的齿槽宽度 (弦) $S_L = 4.204\text{mm}$

[0108] 在重要的直径 d_r 上的啮合角 $\alpha_r : \alpha_r = 14.6^\circ$

[0109] 在渐开线 - 正切函数的过渡点上的渐开线的升起角 : $\varphi = 74.2^\circ$ 。

[0110] 为了明确地确定齿根曲线, 还缺少在位置 $x = 0(\gamma)$ 和半径 r 处的正切函数的升起角的参数。对于角 γ 可以按照方程式 (15) 采纳以下的关系：

[0111]

$$\gamma = 45^\circ - \frac{180^\circ}{z_1} - \alpha_r$$

[0112] 圆形轨迹 6 的倒圆半径 r 如果适合以下关系, 正如上面所述那样, 那就是理想的：

[0113] $r = 0.35 \cdot S_L$

[0114] 因此对于实例来说得出 : $\gamma = 27^\circ$, $r = 1.5\text{mm}$ 。

[0115] 正切曲线和圆形函数的系数和加值在这里为：

[0116] 系数 $a = 0.30626$;

[0117] 系数 $b = 0.63469976$;

[0118] 加值 $c = 101.64979$; 和

[0119] 加值 $f = 103.32733$ 。

[0120] 在这种齿轮中, γ 的界限为以下值：

[0121] $\gamma_{\min} = 11^\circ$, $\gamma_{\max} = 65^\circ$ 。

[0122] 如果离开这个部位, 那么新的齿根形状相比于用上面所述的滚刀所产生的变体, 并没有使应力最小化并且进而也没有提高齿根强度。

[0123] 半径的下限在该实例中为 $r_{\min} = 0.5\text{mm}$, 上限为 $r_{\max} = 2.1\text{mm}$ 。这不是按照应力的界限, 而是一种几何的界限。因为该半径近似地是一种完全倒圆, 但其与滚铣的对比方案相比较来说具有还要更小的应力, 然而高于最佳的 γ 和 r 。

[0124] 相比于传统的滚铣齿轮来说,在这里示例性地计算的齿轮 I 中可以使齿根强度提高直至 30%。

[0125] 这样的齿轮的制造例如可以通过多轴线自由运动的和自由可编程的铣削装置,或者通过适合的、由根据本发明的齿根形状推导出的滚刀来实现。

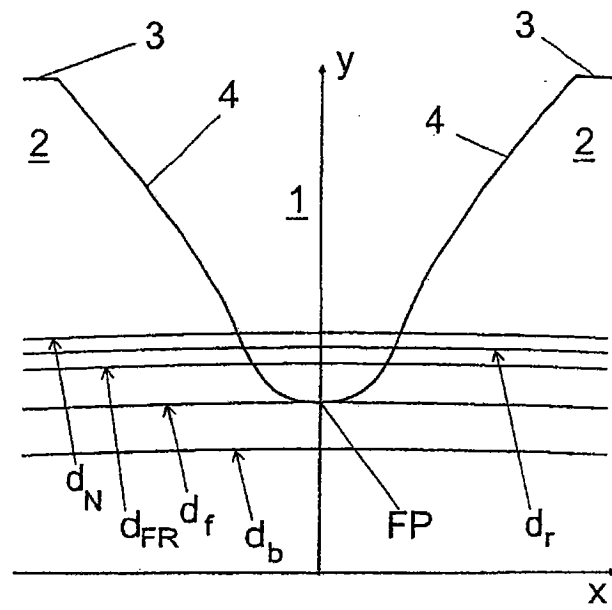


图 1

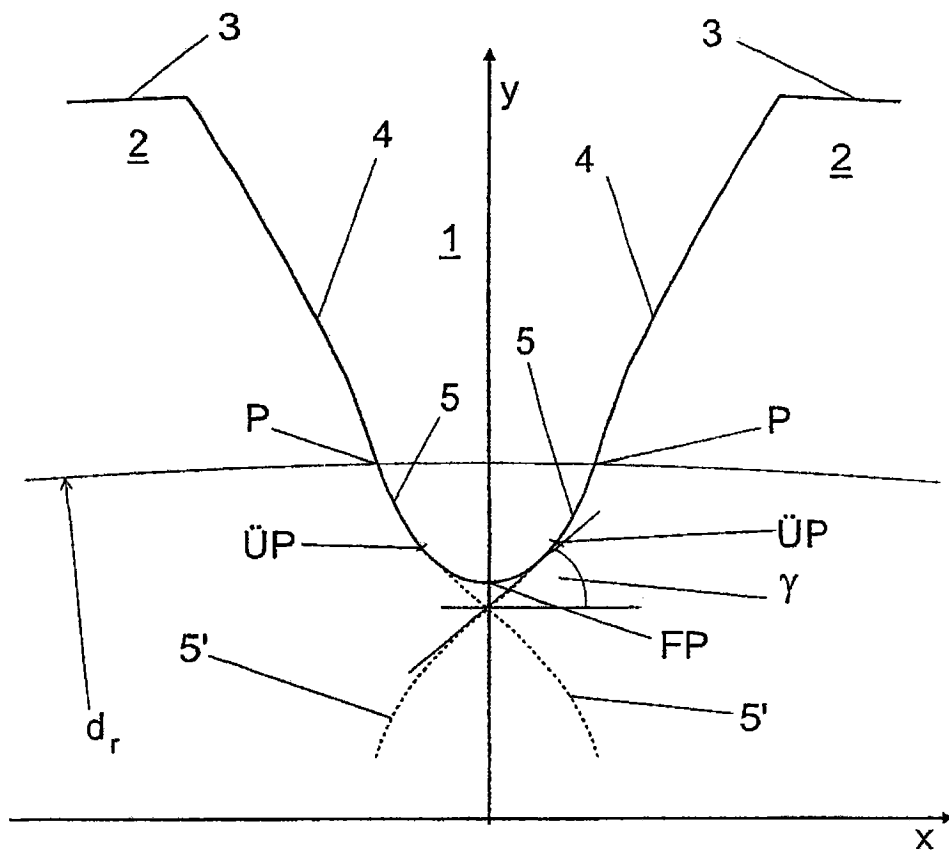


图 2

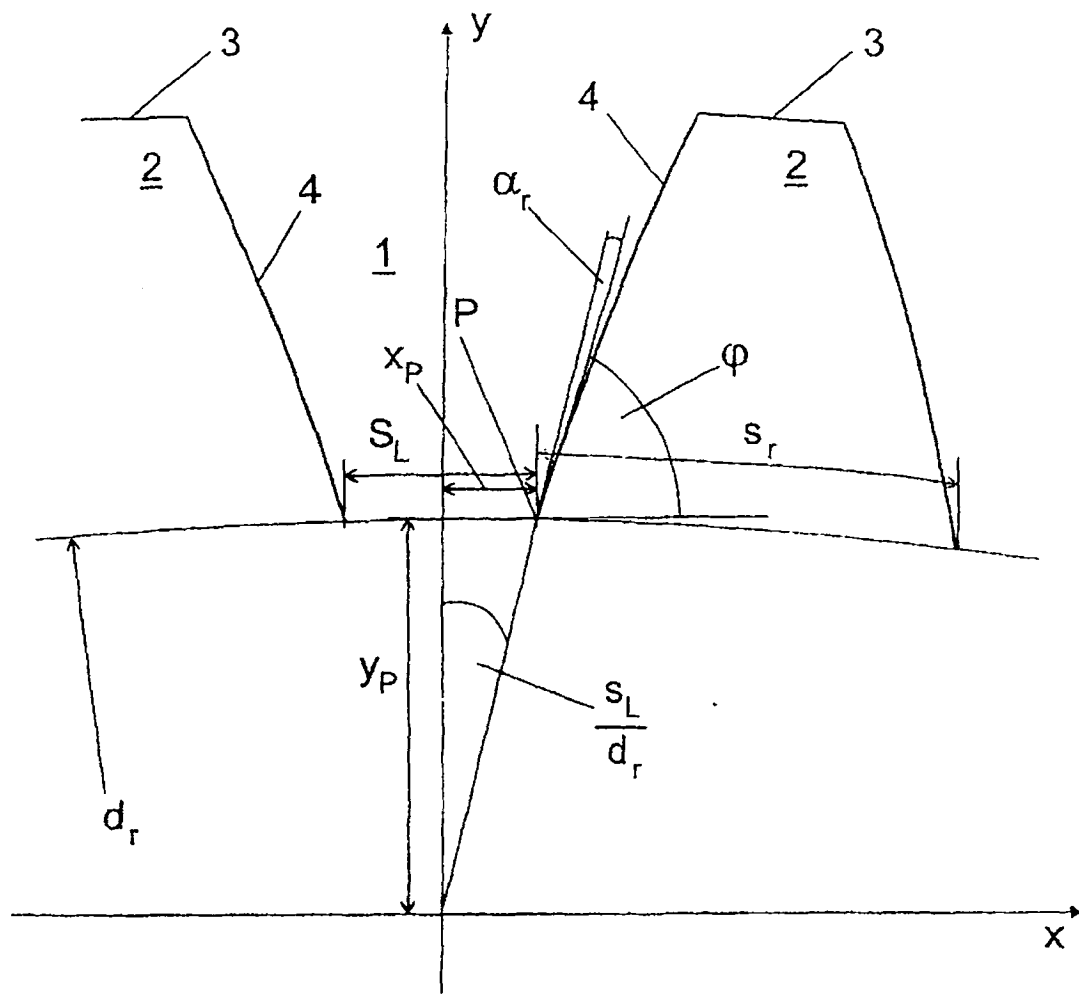


图 3