KISSsoft
Calculation programs for machine design

KISSsoft 03/2017 – 教程 13

齿根优化

KISSsoft AG
Rosengartenstrasse 4
8608 Bubikon
Switzerland

Tel: +41 55 254 20 50
Fax: +41 55 254 20 51
info@KISSsoft.AG
www.KISSsoft.AG

目录

1 综述 3
1.1 任务 3
1.2 结果 3
1.3 原理 3
1.4 其他内容 4
2 按照 ISO 6336 进行强度计算 4
2.1 几何形状 1（ρ^*_{fP}=0.38） 4
2.2 几何形状 2（ρ^*_{fP}=0.45） 7
2.3 几何形状 3（椭圆修正） 8
3 使用“Graphical method”进行强度介绍 9
3.1 几何形状 1（ρ^*_{fP}=0.38） 9
3.2 几何形状 2（ρ^*_{fP}=0.45） 10
3.3 几何形状 3（椭圆修正） 10
4 提示和解释 12
4.1 计算步骤：“automatic” 12
4.2 内齿轮的计算 12
4.3 计算刀具齿廓，来加工椭圆修正的齿根 13

1 综述

1.1 任务

本教程会介绍齿根几何结构对齿根应力的影响，以及如何优化它。如果用户想要评价一个非标齿轮的齿根应力，推荐使用图解法“graphical method”。

为了达到这些目的，用户需要进行强度计算和齿轮几何计算。

1.2 结果

将要验证三种不同的齿根几何形状：

1. 使用齿根半径系数 ρ^*_{fP}=0.38 的刀具得到的齿根几何形状
2. 使用齿根半径系数 ρ^*_{fP}=0.45 的刀具得到的齿根几何形状
3. 经过优化的齿根几何形状（椭圆修正）

如果用户结合使用 ISO 6336 和 图解法进行计算，将会得到以下安全系数：

Table 1. 不同计算方法得到的齿根弯曲强度安全系数比较.

	基于 ISO 6336 得到的安全系数	结合 ISO 6336 和图解法得到的安全系数
几何形状 1 (ρ^*_{fP}=0.38)	2.602	2.504
几何形状 2 (ρ^*_{fP}=0.45)	2.767	2.684
几何形状 3 (椭圆修形)	2.767*	2.928
几何形状 1 到几何形状 3 的改善程度	6%*	17%

通过优化齿根几何形状，抗齿根失效的安全系数可以增加 12%。但是，要加工这种经过优化的齿根圆角，需要特别的刀具（修正后的刀具）。所以，我们推荐用户在大批量生产（例如成形磨），或者通过线切割电腐蚀、粉末冶金、注塑生产齿轮的时候使用这种方法。

* 请注意：如果使用未修正的 ISO 6336 方法（或者其他方法，例如 DIN3990 或者 AGMA2001），则不能评估经过修正的齿根几何形状。从表格中可以看出，从几何形状 2 到几何形状 3，计算结果没有变化。

1.3 原理

如图所示，参数ρ_{fP} 是齿轮基准齿廓的齿根半径：

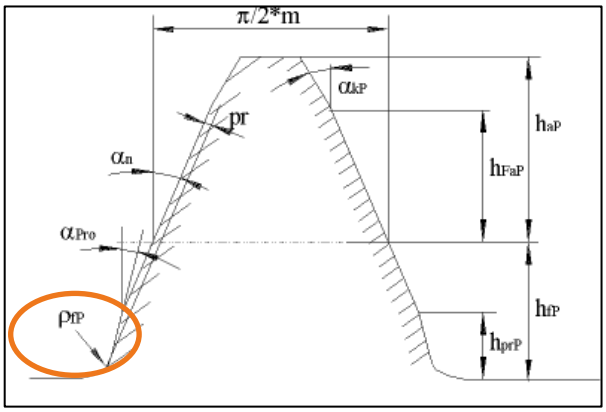
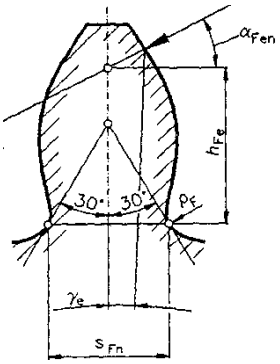


图 1. 齿轮基准齿廓， ρ_{fP}

在 ISO 6336 的定义中，校核齿根强度时，只是使用了齿根上的一个点，计算这个点处的系数 Y_F 和 Y_S 。这个点是指一条与齿根相切，并且与对称中线成 30°的线与齿根的切点。Y_F 和 Y_S 可以根据下面的方程（2）和方程（3）计算。齿根应力可以根据方程（1）计算得到。



$$Y_F = \frac{\frac{6 \cdot h_{Fe}}{m_n} \cdot \cos \alpha_{Fen}}{\left(\frac{s_{Fn}}{m_n}\right)^2 \cdot \cos \alpha_n} \quad (2)$$

Method B:

$$\sigma_{FO-B} = \frac{F_t}{bm_n} \cdot Y_F \cdot Y_S \cdot Y_\beta$$

Method C:

$$\sigma_{FO-C} = \frac{F_t}{bm_n} \cdot Y_{Fa} \cdot Y_{Sa} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta$$

$$\sigma_F = \sigma_{FO} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{F\beta} \cdot K_{F\alpha} \le \sigma_{FP} \quad (1)$$

$$Y_S = (1.2 + 0.13 \cdot L) \cdot q_s^{\left[\frac{1}{1.21+\frac{2.3}{L}}\right]}$$

$$L = \frac{s_{Fn}}{h_{Fe}}, q_s = \frac{s_{Fn}}{2\rho_F} \quad (3)$$

图 2.　　根据 ISO 6336 计算齿根应力

在实际中，齿根圆角的结构都存在或大或小的偏差。

考虑到实际齿根齿形，KISSsoft 允许用户计算齿根每个点的齿形系数 Y_F 和应力修正系数 Y_S。在本案例中，以 $Y_F \cdot Y_S$ 达到最大值的点作为校核强度的点。

对于经过优化的齿根圆角的影响，这是唯一可以用于评估的方法。

1.4 其他内容

在第二部分，齿根安全系数是根据标准的 ISO 6336（方法 B）计算的。但是，不可以用这种方法来考虑齿根优化的影响。只能计算几何形状 1 和几何形状 2 的齿根安全系数。

在第三部分，齿根安全系数是用图解法（KISSsoft 对 ISO 6336 做的一个可选的修正）计算的，用户可以清楚地看到优化后齿根圆角的影响。

计算结果的对比可见表格 1。

更进一步的解释可见第 4 部分。

所有的计算/修正都是只针对齿轮 1.

2 按照ISO 6336 进行强度计算

2.1 几何形状1（ρ^*_{fP}=0.38）

通过点击“File/Open”并选择“**CylGearPair 1 (spur gear)**”，或者点击“**Examples**”标签，打开本教程中使用的案例。

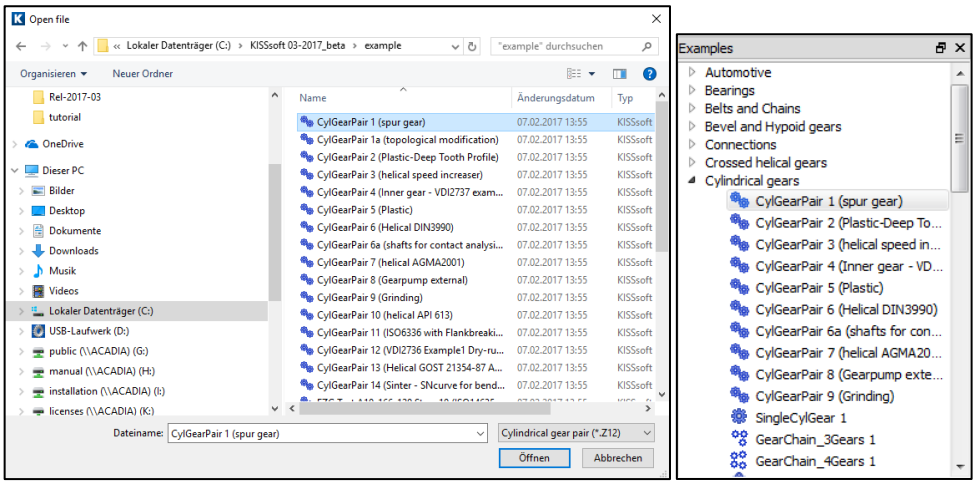


图 3.　　打开计算案例“CylGearPair1 (spur gear)”

案例中使用的计算方法是 ISO 6336 方法 B。点击“**Reference profile**”标签，可以看到使用的是哪一个基准齿廓。本案例中使用的是 ISO 53.2 定义的一个标准的基准齿廓 profile A。（1.25/0.38/1.00）。

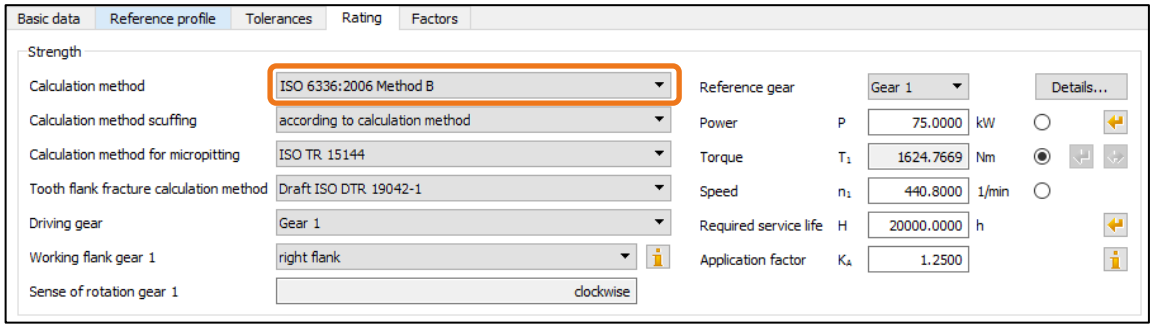


图 4.　　选择计算方法

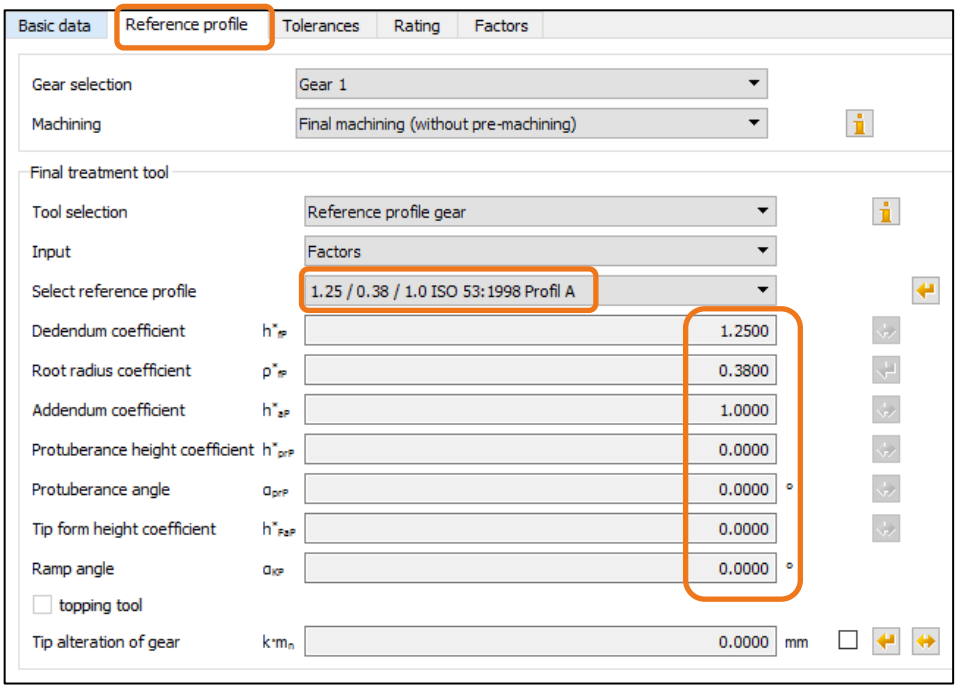


图 5.　　第一次计算的标准的基准齿廓

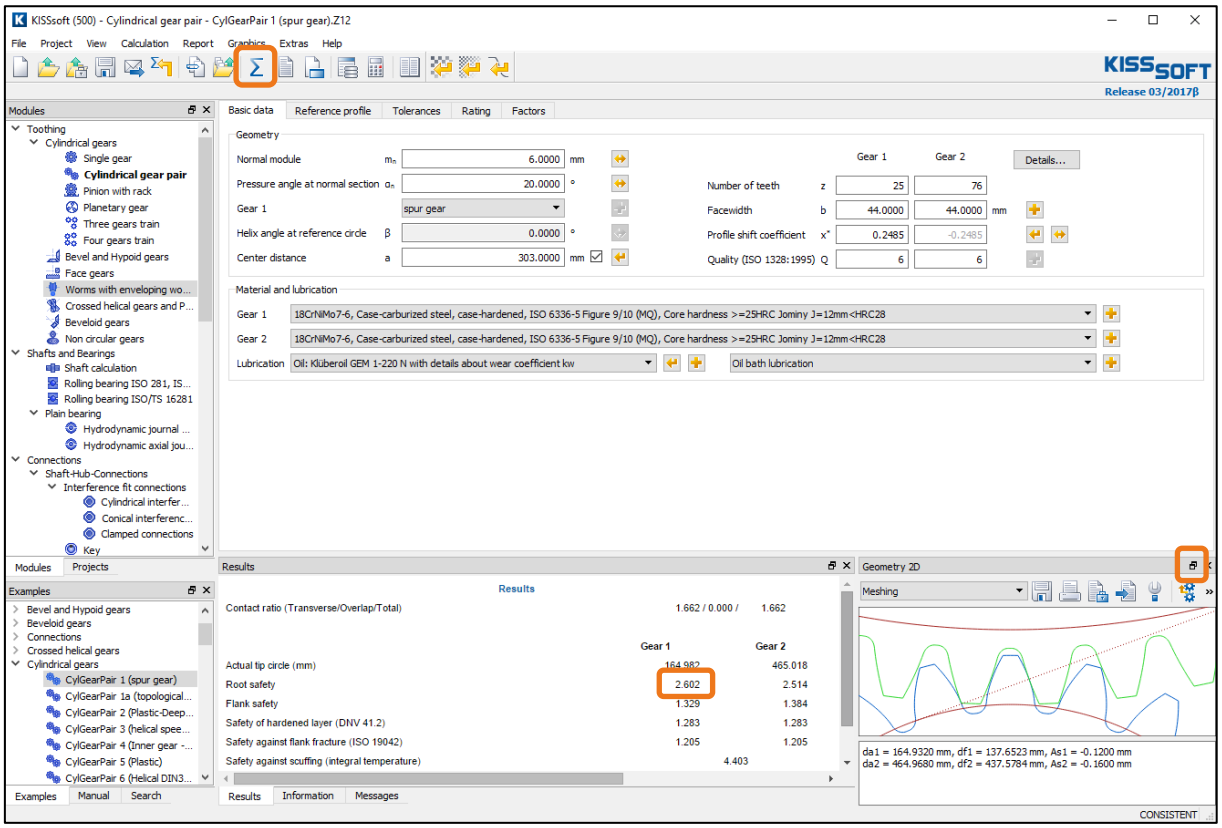


图 6.　　齿轮 1 齿根安全系数的计算结果

得到的齿形可以在一个图表窗口中看到。点击右上角的按钮，打开一个浮动窗口并放大。用户可以保存齿形，方便之后进行比较。可以按照图 7 中标记的步骤进行。

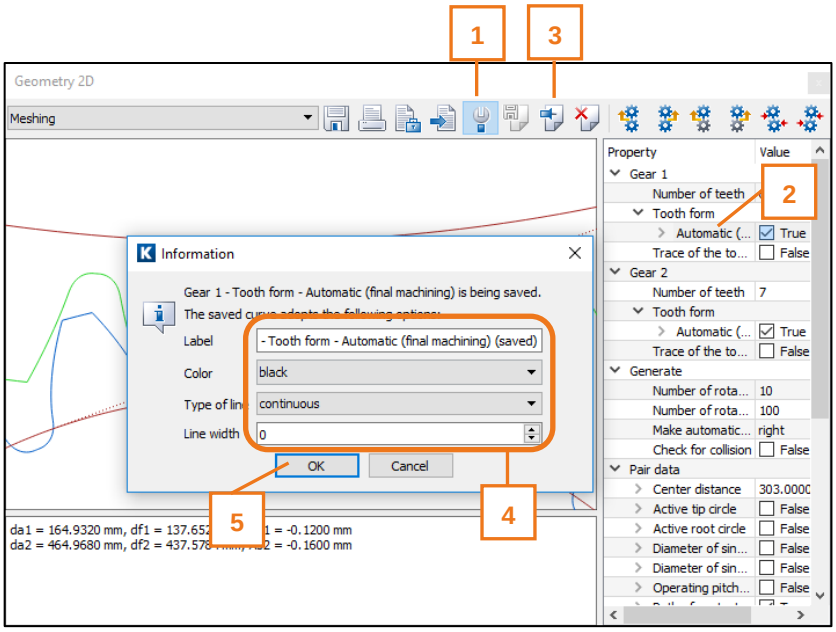


图 7.　　得到 ρ^*_{fP} =0.38 的齿形

2.2 几何形状2（ρ*fP=0.45）

第一步是决定ρ*fP最大可能的值。点击基准齿廓的下拉菜单并选择“**Own Input**”。点击选型按钮，软件会自动计算出最大的ρ*fP 数值。允许的最大的数值是 ρ*fP=0.471。

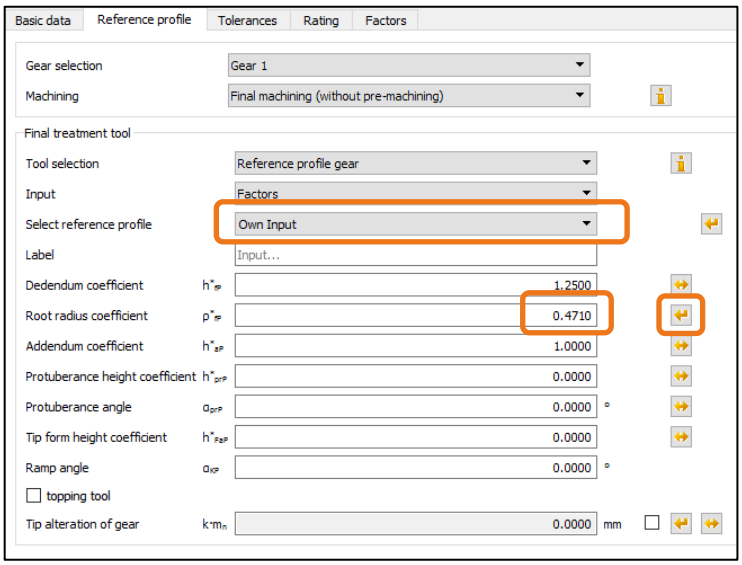


图 8.　　ρ*fP 的修正

这改变了ρ*fP 的输入值。然后输入ρ*fP=0.45，点击  或者“F5”来进行计算。这时并没有警告信息出现。.

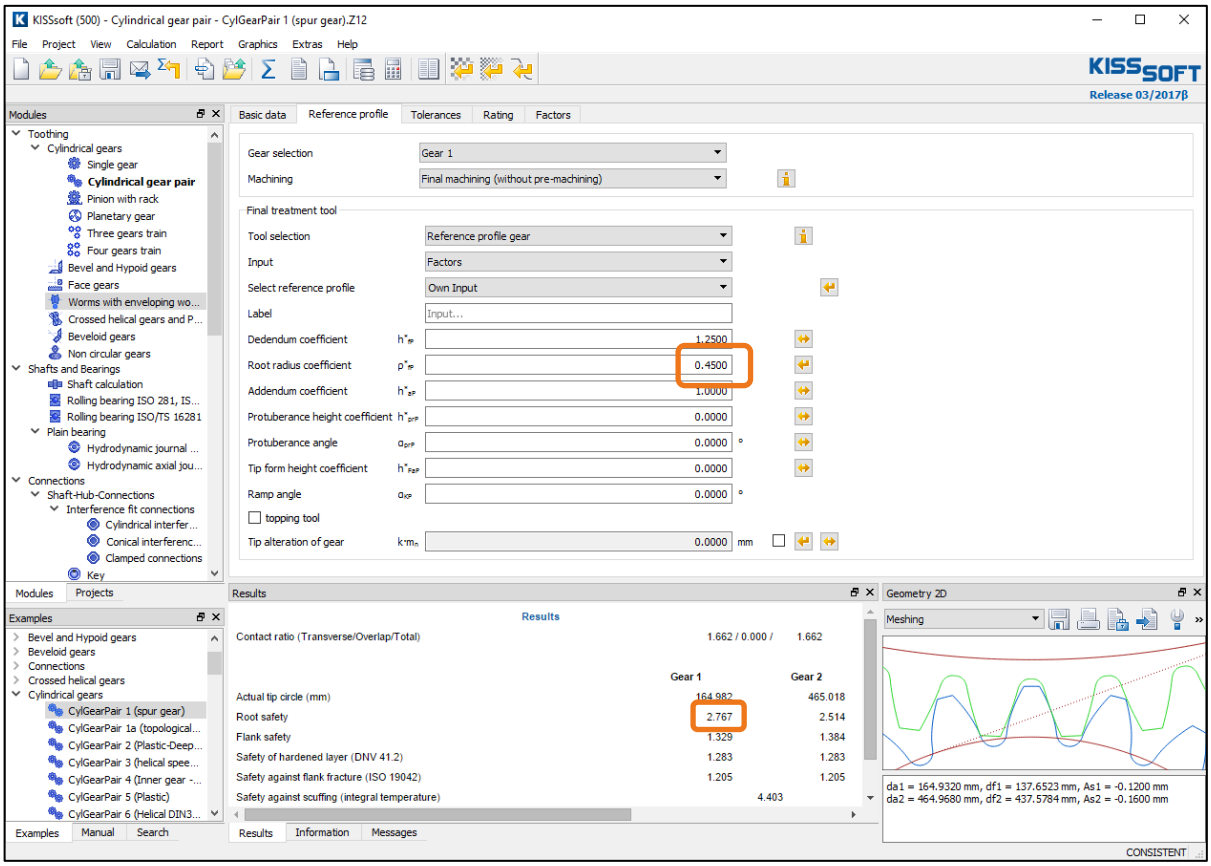


图 9.　　齿轮 1 修正后 ρ*fP =0.45 的齿根安全系数的计算结果

齿根安全系数增长到了 2.767。

在 2D 图表中，可以同时看到前后两个齿形（使用“+”和“-”来改变尺寸）。蓝色的线是使用ρ^*_{fP}=0.45 得到的齿形。黑色的线是之前使用 ρ^*_{fP} = 0.38 得到的齿形，这是之前保存下来的。

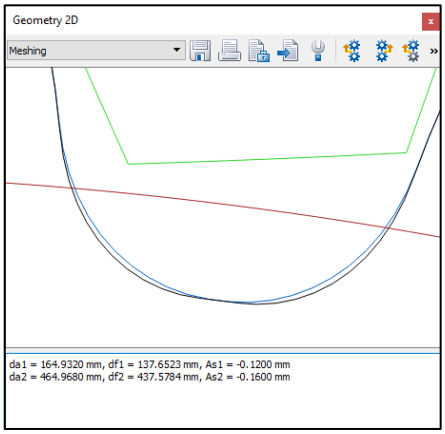


图 10. 齿根圆角的对比（几何形状 1/黑色 ρ^*_{fP}=0.38，几何形状 2/蓝色 ρ^*_{fP}=0.45）

2.3 几何形状3（椭圆修正）

由于 ISO 6336 中强度计算的定义是基于基准齿廓，所以不能进行这个计算。因此，对于不基于标准齿条齿廓的经过修正的齿根圆角的影响，用户不能使用 ISO 6336 计算。用户需要使用下一部分介绍的“**Graphical method**”进行计算。

3 使用“Graphical method”进行强度介绍

3.1 几何形状1（ρ*fP=0.38）

在“**Reference profile**”标签下，重新将 ρ*fP 设置成 ρ*fP=0.38，然后打开“**Rating**”标签。

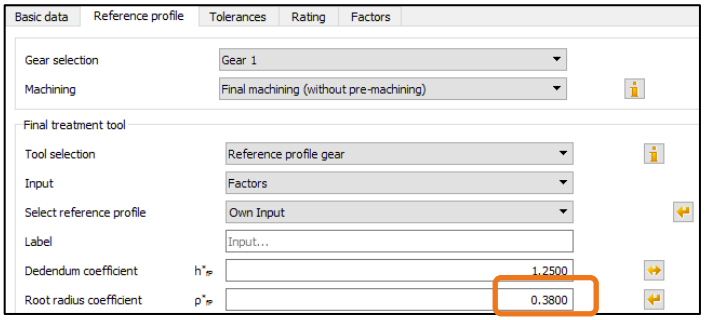


图 11. 重新设置 ρ*fP=0.38

现在需要选择“**using graphical method**”选项。打开“**Rating**”标签，点击“**Detail**”。这会打开“Define details of rating”窗口。在齿形系数 Y_F, Y_S 边上的下拉列表中选择“**using graphical method**”。点击“**OK**”进行确认并关闭 Detail 窗口。

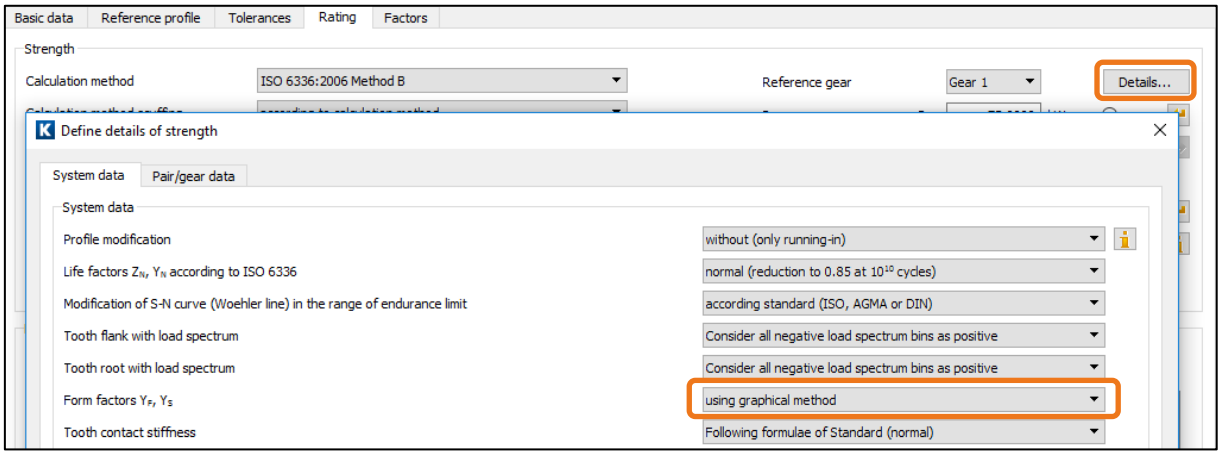


图 12. 选择图解法“graphical method”进行计算

点击  或者“F5”重新进行强度计算。请注意，安全系数此时会降低。

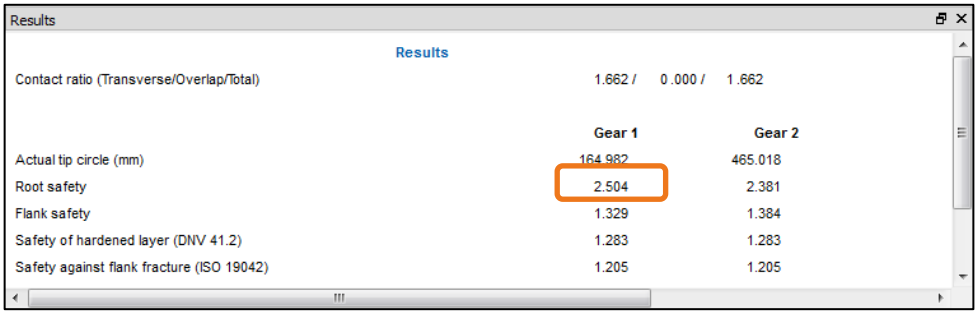


图 13. ρ*fP =0.38，使用图解法进行计算得到的齿轮 1 的安全系数

3.2 几何形状2（ρ*fP=0.45）

在“Reference profile”标签下，重新把ρ*fP 设置为 ρ*fP=0.45。点击“**Σ**”或者 F5 进行强度计算。

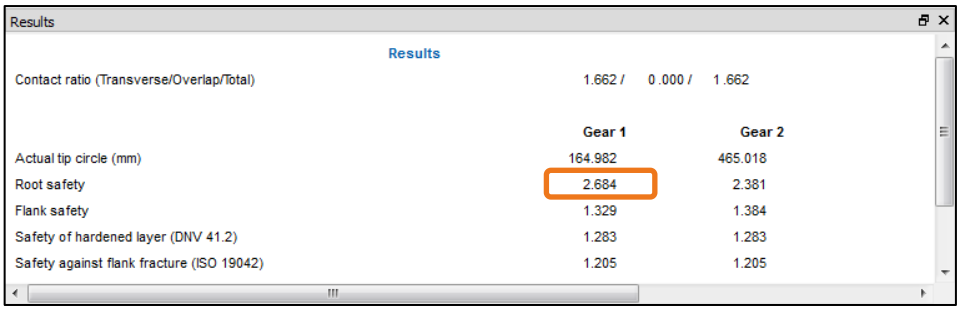


图 14. ρ*fP =0.45，使用图解法进行计算得到的齿轮 1 的安全系数

3.3 几何形状3（椭圆修正）

为了添加齿根椭圆修正，点击“Tooth form”标签运行齿形计算。

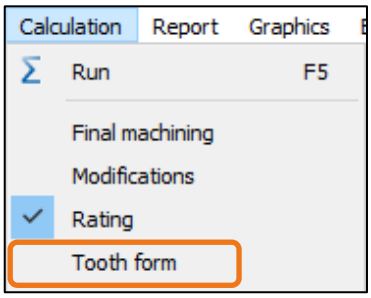


图 15. 打开齿形计算

在“**automatic**”上单击右键， 便可以看到如何添加“**Elliptic root modification**”。

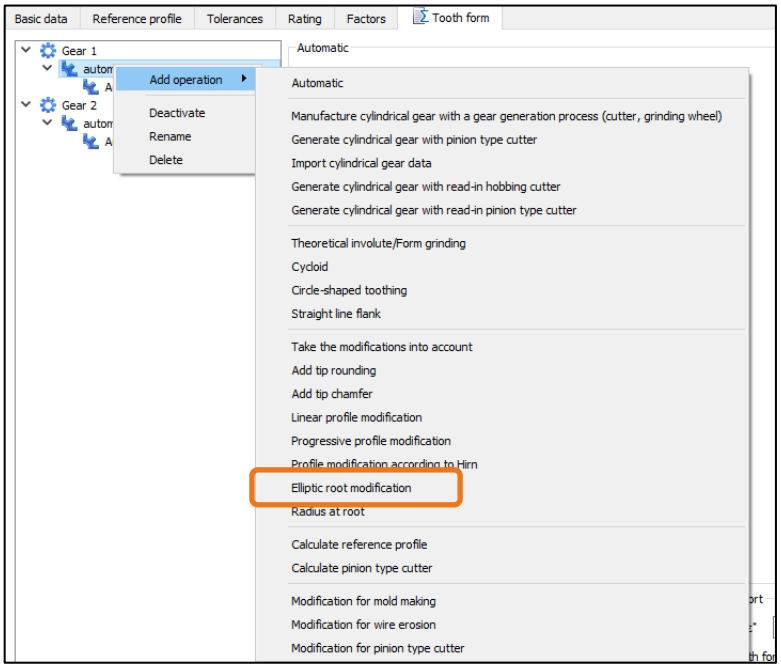


图 16. 添加齿根椭圆修正

点击“Modification starting at diameter”输入框右边的 按钮，定义齿根椭圆修正的起始位置。在“**Elliptic root modification**”图标上单击右键，选择“**Choose as result**”，确保齿形已经经过修正。



图 17. 开始修正，进行计算

回到“**Basic data**”标签，点击 或者“F5”计算强度（在齿形计算过后）。齿轮的安全系数已经变化了：

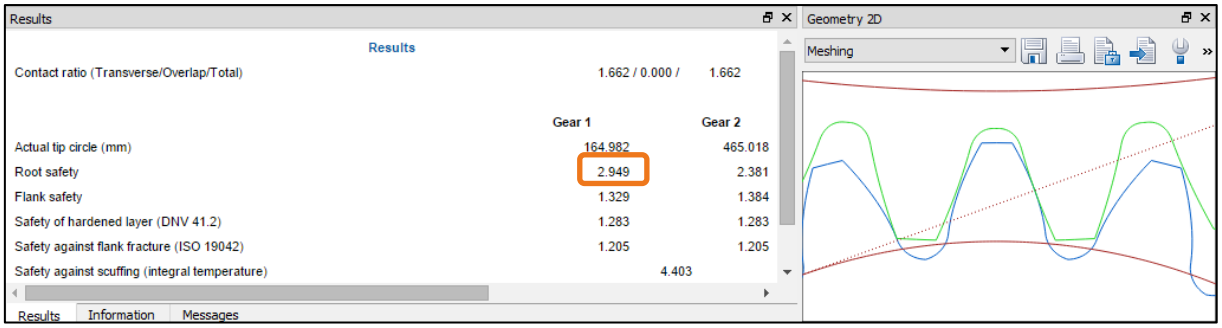


图 18. 齿根圆角进行优化后的计算结果

4 提示和解释

4.1 计算步骤：“automatic”

当打开齿形计算后，第一个制造步骤已经存在了，默认的设置是“automatic”。.

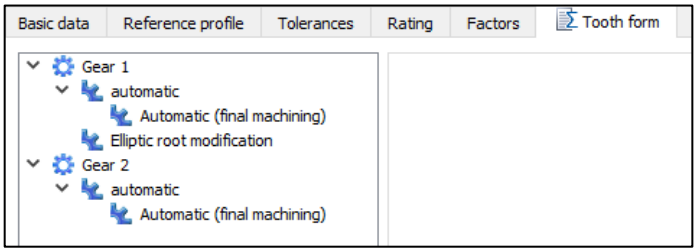


图 19. 齿形计算界面的设置

这一步的计算是基于“Reference profile”标签下的定义的基准齿廓。

因此，当添加齿根椭圆修正时，可能会和之前没有区别（或者只有很小的区别），这取决于“Reference profile”标签下定义的是ρ^*_{fP} =0.38 或 ρ^*_{fP} =0.45。这是因为椭圆修正只是制造的第二步（第一步是按照“Reference profile”标签中定义的基准齿廓，使用“automatic”设置生成齿形）。这就是为什么最新得到的齿形很相似的原因。

但是，如果改变“**Coefficient for curvature**”的值，便可以改变椭圆修正的形状。 “**Arc length on the root diameter**”定义了两段椭圆之间圆弧的长度。

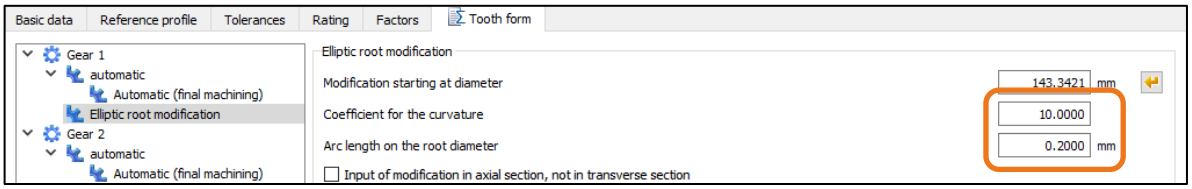


图 20. 椭圆修正齿根圆角的系数

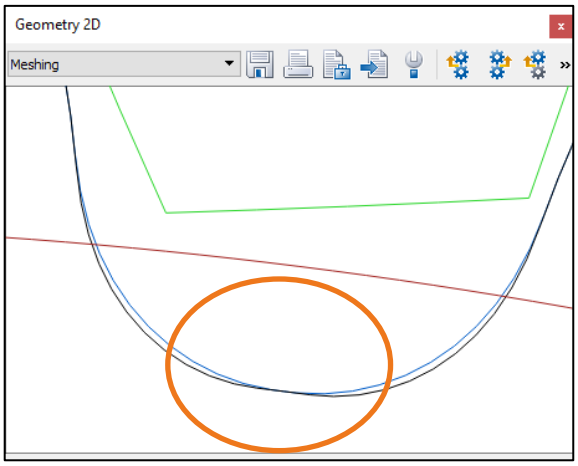


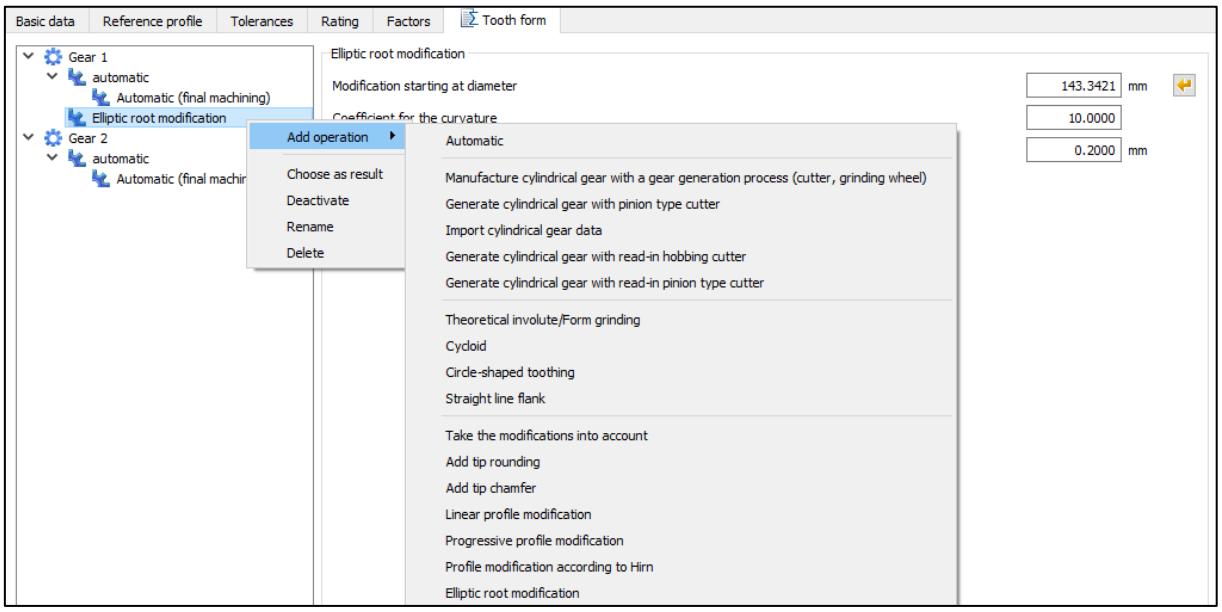
图 21. 定义齿根圆角的系数以及齿根半径上的圆弧长度

4.2 内齿轮的计算

对于内齿轮，根据 DIN 3990， ISO 6336 和 AGMA 2001 进行的计算实质上都是不准确的（但是，ISO 6336:2006 版本会好一些）。因此，我们推荐用户在计算内齿轮的时候使用图解法“**graphical method**”。用户需要 ZA15 模块，才能使用图解法。

4.3 计算刀具齿廓，来加工椭圆修正的齿根

为了计算刀具的几何形状，并且生成所有的计算步骤，包括椭圆修正，必须按照如下步骤：
在“**Elliptic root modification**”上单击右键，添加“**Calculate reference profile**”操作。



然后选择下图所示的内容作为结果（choose as result）.

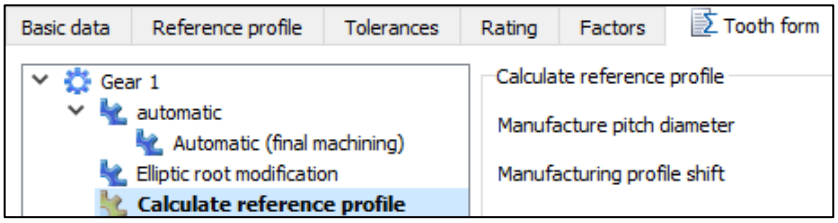


图 22. 添加“Calculate reference profile”操作

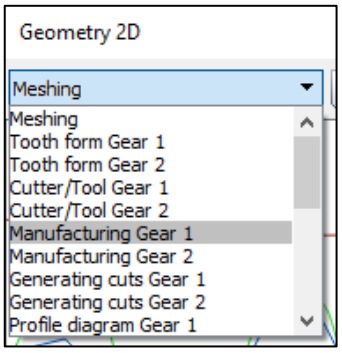


图 23. 选择 Manufacturing Gear 1.

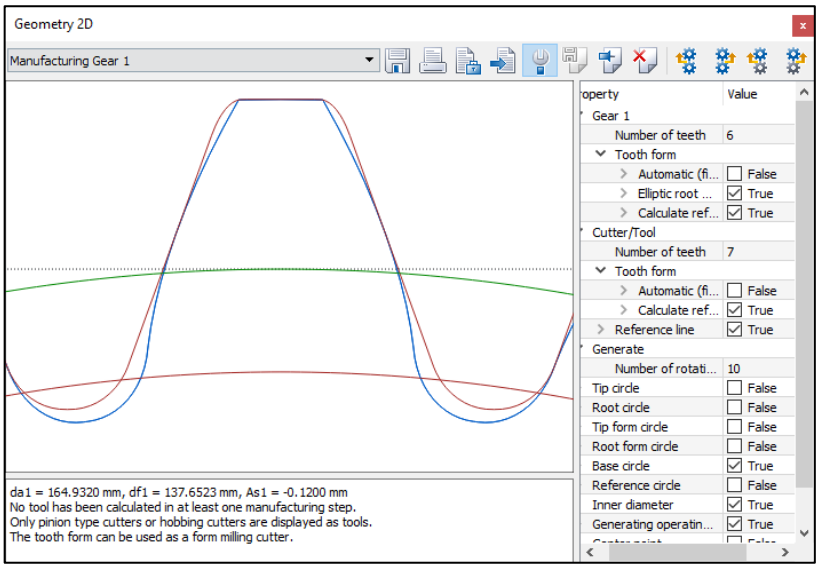


图 24.　　显示 Manufacturing Gear 1

最后，显示刀具。在图表窗口，在下拉列表中选择“**Cutter/Tool Gear 1**”，显示刀具几何形状。用户如果需要，可以导出刀具几何形状，用于加工。.

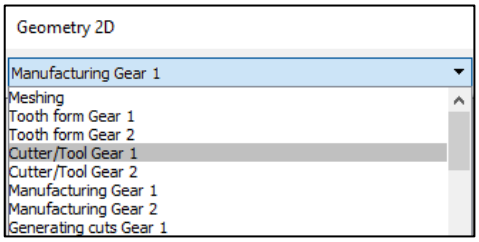


图 25.　　选择显示 Cutter/Tool Gear 1

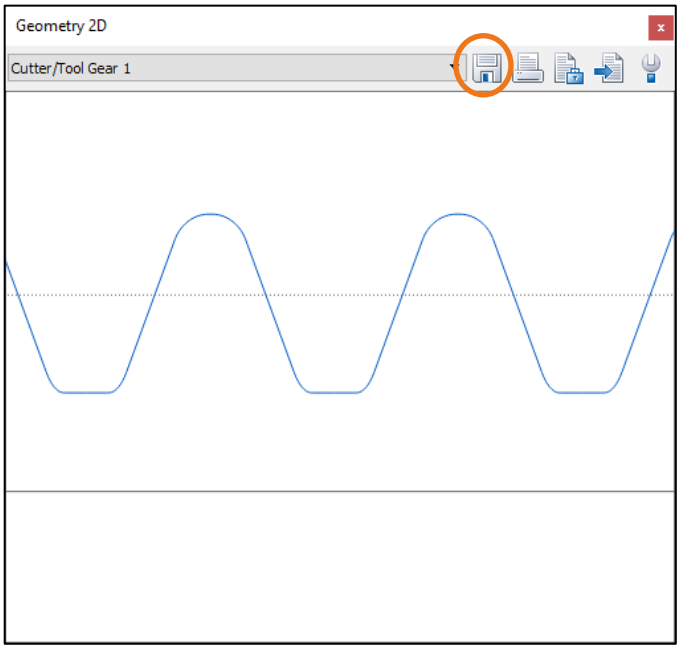


图 26.　　显示刀具形状 cutter/tool

用户可以将刀具形状保存为 DXF 或者 IGES 格式。