KISSsoft
Calculation programs for machine design

KISSsoft 03/2017 – 教程 11

对于塑料齿轮、粉末冶金、线切割及锻造成型的齿轮进行齿形优化、特殊的齿形修形

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 简介 3
1.1 齿轮设计的策略综述 3
1.2 简介 3
2 定义齿轮齿形几何 4
2.1 简介 4
2.2 齿形倒圆角 4
2.3 最小的齿顶齿厚 9
2.4 改变预先定义好的齿廓 10
2.5 通过改变基本齿廓来改变齿轮的几何 10
2.6 通过齿轮修形来消除接触冲击 11
2.7 优化齿根 15
2.8 检查啮合图 16
2.9 检查齿轮啮合之间的咬合 18
3 强度计算 19
3.1 简介 19
3.2 输入用户自定义的关于塑料齿轮的数据 19
3.3 考虑真实齿形几何影响的强度计算 22
4 定义齿厚偏差 25
4.1 简介 25
4.2 计算工作侧隙 25
4.3 增加工作侧隙 27
5 计算注塑模模具 29
5.1 简介 29
5.2 修改注塑模具来补偿收缩量 29
5.3 显示电火花线切割丝径/放电间隙 31
5.4 在线切割过程中检查线切割丝的直径 33
5.5 计算模具的 3D 34

1 简介

1.1 齿轮设计的策略综述

本章主要介绍关于对使用模具成型工艺制造的齿轮的优化（注塑成型，粉末冶金和锻造成型等）。KISSsoft 软件集成了对使用这些工艺制造的齿轮的优化及选型的功能。

选型工程包括以下步骤：

- 使用强度计算定义初步的尺寸（模数，齿宽等）；
- 定义公差
- 优化使用深齿制（目标：考虑齿顶圆角及啮合曲线，获得端面重合度至 2.0 来降低噪音）
- 齿顶倒圆角
- 优化啮合曲线/齿形修形（目标：降低噪音，提高磨损安全系数）
- 优化齿根圆角（增加齿根安全系数）
- 定义制造工艺中使用的模具

1.2 简介

当今，塑料齿轮的加工越来越普遍，主要是现在的塑料齿轮材料的发展越来越有大的承载能力。相对于钢的材料，塑料材料的特殊属性允许它在更多的领域里面使用。因此设计者可以尽最大可能选择最好的塑料齿轮来适合其特殊的应用。当设计齿轮时，一些特殊的属性比如承载能力，抗磨损能力，阻尼性，刚度及噪音方面都会有所考虑。

金属齿轮通常使用滚刀来加工。相反，塑料齿轮通常使用注塑模具成型。如果模具是用线切割工艺来加工得到，则齿形能够在不增加成本的基础上被优化 。然而在滚齿工艺中，只有使用昂贵的特殊定制的滚刀来实现。 然而，标准的注塑模具通常不能获得一个很好的精度等级，因此，这个问题必须用特殊的方法来解决。因此，齿轮必须按照这样的方法来进行修改，在一些文献上，通常也叫做混合齿形。

KISSsoft 软件里面包含了很多对塑料齿轮进行的特殊的选型和优化的方法。这些过程已经以综合的现代化的软件形式集成到我们软件里面，从而使用户很容易的使用标准齿形和混合齿形来设计和比较。.

2 定义齿轮齿形几何

2.1 简介

用户可以通过很多方式来获得啮合的一些特性。基于需要得到的不同目标的重要性，比如低的噪音辐射，低的振动，强度，滑动，刚度及平衡等指标，这些都要按照一定的优先级别序来进行考虑。

当用户启动优化过程，我们建议用户按照如下方法设置一些默认参数：

2.2 齿形倒圆角

使用注塑成型的齿轮，齿顶边缘必须倒成圆角，因为在注塑过程中，尖角是无法精确成型的。在主界面中是可以输入齿轮 1 和齿轮 2 的这些参数的。这样能够保证所有的重要参数（比如重合度等）在计算的时把齿顶倒圆角考虑进去。

下面罗列了一个这样的例子：KISSsoft 提供给用户一个这样的特殊计算的例子，如下打开圆柱齿轮计算模块。

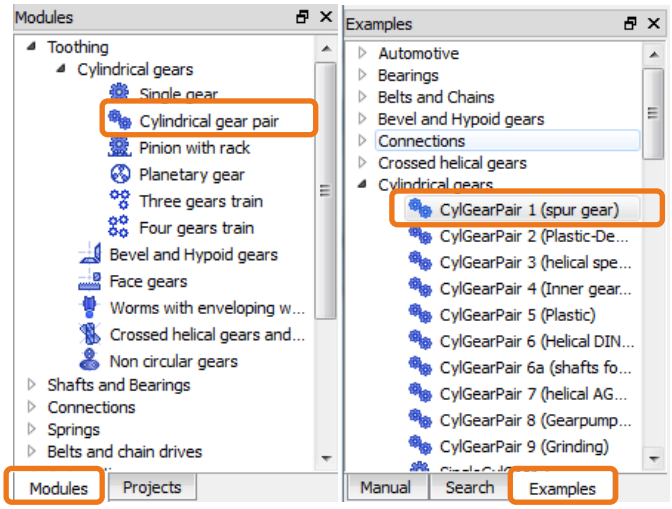


图 1. 打开圆柱齿轮计算模块并打开例子 CylGearPair 1 (spur gear)

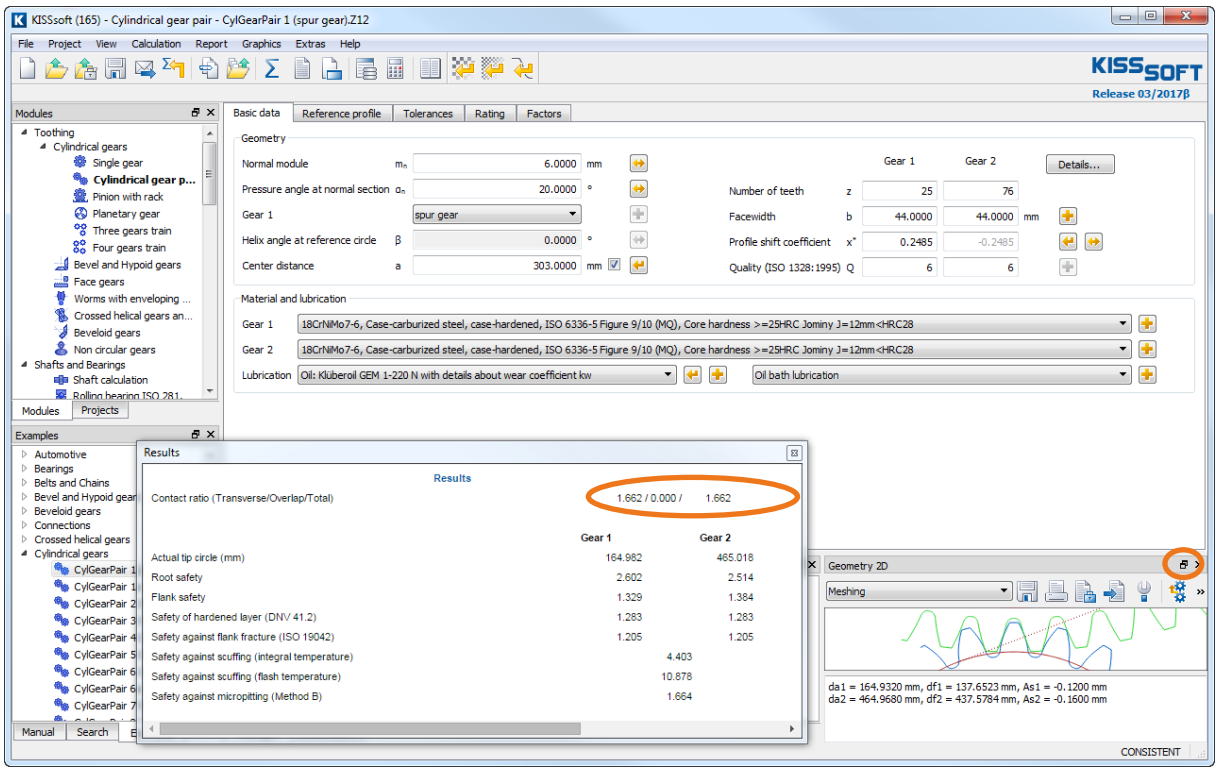


图 2.　点击"Σ"对塑料齿轮进行计算

用户可以点击工具栏中的  或按下"F5"来计算例子中的齿轮。如果没有齿顶倒圆角，重合度为 1.662。用户可以在底下的窗口里面看到所显示的齿轮图形。用户也可以将其移动到所需的位置来查看所显示的图形（见右下角 图 2 上的标记）。

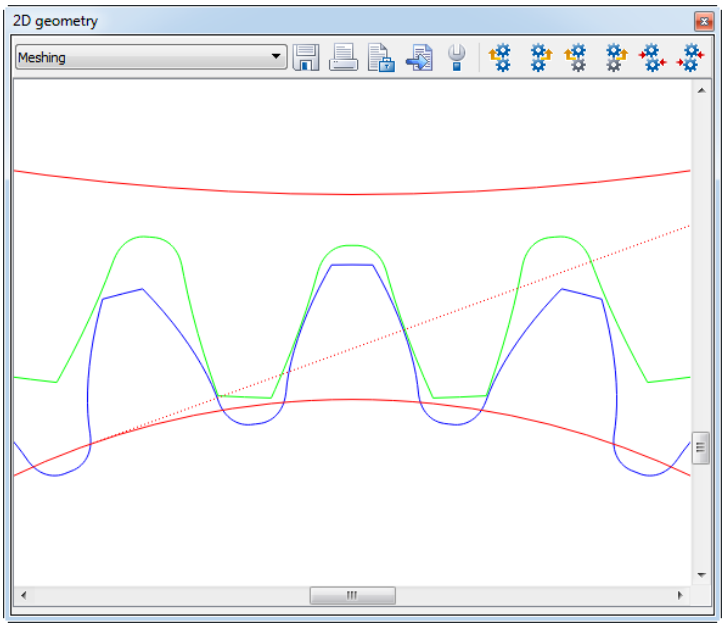


图 3.　齿轮齿形显示

用户可以暂时把齿形保存起来用于后续对比。打开属性**"Property browser"** （标记 1），选择齿轮 1 的齿形（标记 2）然后点击**"Save"**（标记 3），此时弹出一些信息窗口。用户可以做一些必要的更改（比如颜色等）（标记 4）。点击 "OK"（如标记 5）就可以暂时把齿轮 1 的齿形临时保存。按照相同的步骤来保存齿轮 2 齿形。此时，用户可以很方便的观察齿形所做的更改。此时，用后可以关掉 **"Property browser"**属性框。

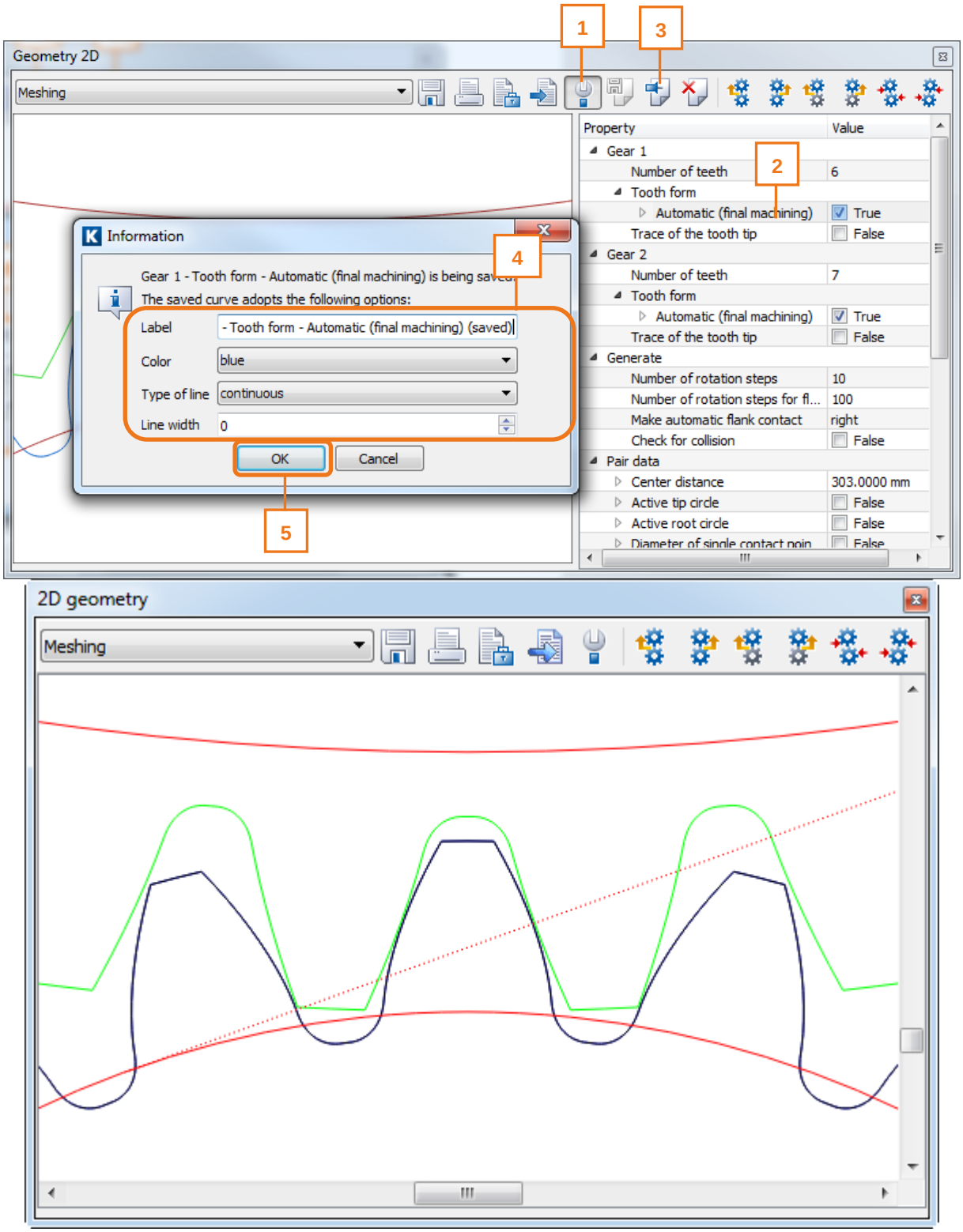


图 4. 保存齿形

齿顶倒圆按照如下步骤定义：打开 **"Modifications"** 标签，（或者点击 **"Calculation"** → **"Modifications"**）（见图 5）：

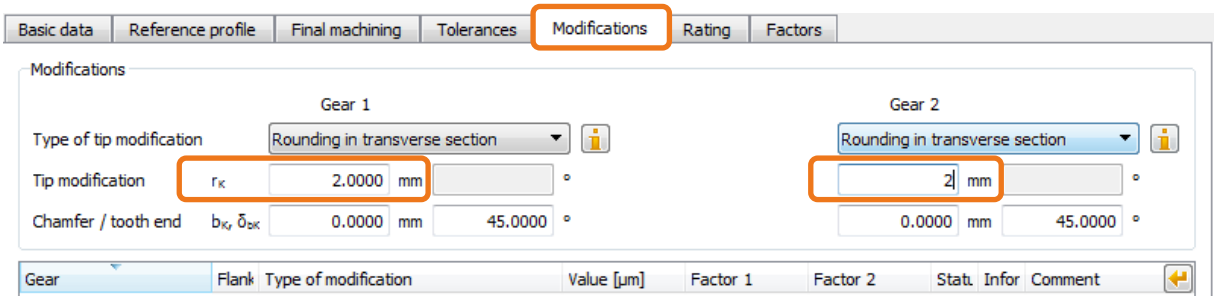


图 5. 定义齿顶圆角，此例中圆角半径为 2 mm

然后点击  重新对带有圆角的齿轮执行计算。如果用户仔细查看图形，则会看到齿上的圆角。而且原来的齿形也一起显示（黑色/绿色或蓝色）。

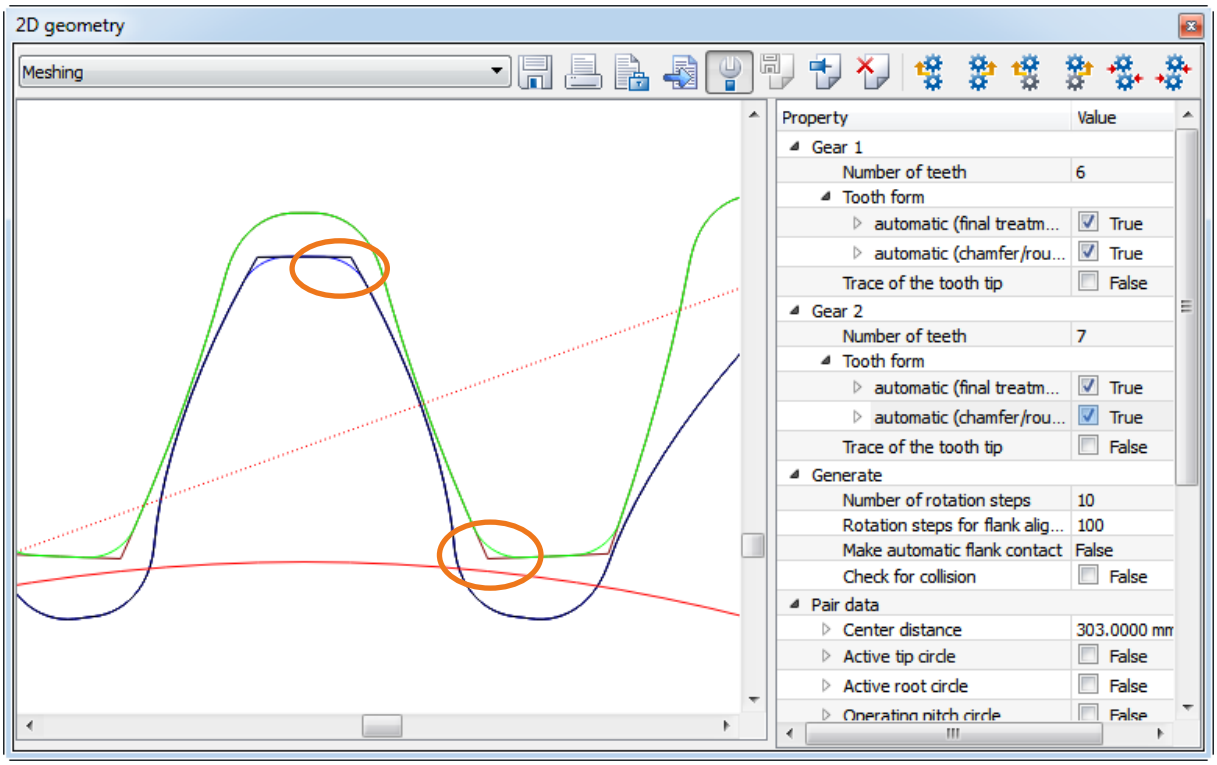


图 6. 齿顶倒圆

重要提示:

当用户保存图形的时候，所有以前的计算会被激活。

在一些情况下，用户也可以通过激活或冻结计算中的某一个单独步骤来查看所做的改变。

用户也可以重新设置图形属性。如果用户改变了属性窗口的定义，则会自动保存这些设置。相对的，如果用户想恢复默认，则点击 **"Extras"→ "Configuration tool"** in the **"Settings"** tab and click on **"Graphics" "Reset"**.

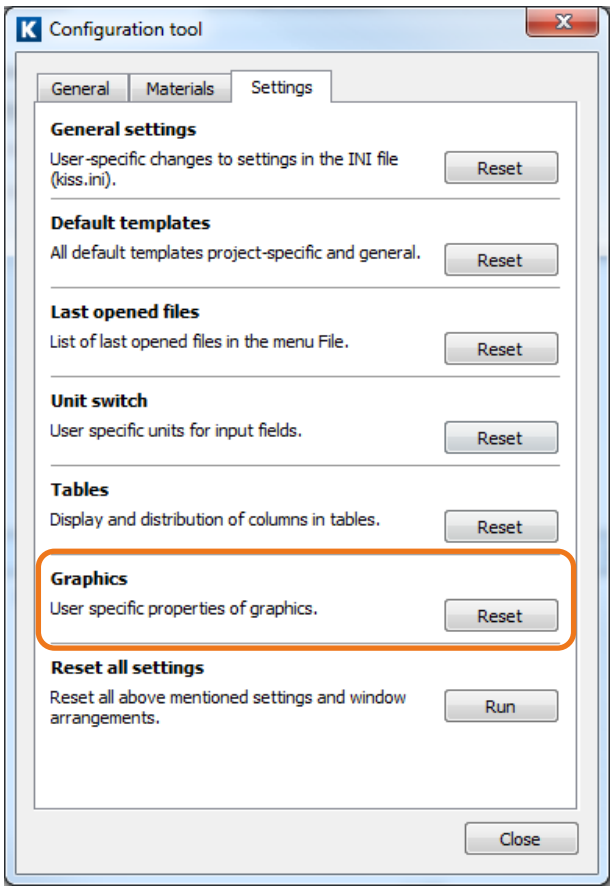


图 7.　重新设置图形属性"Graphic properties"

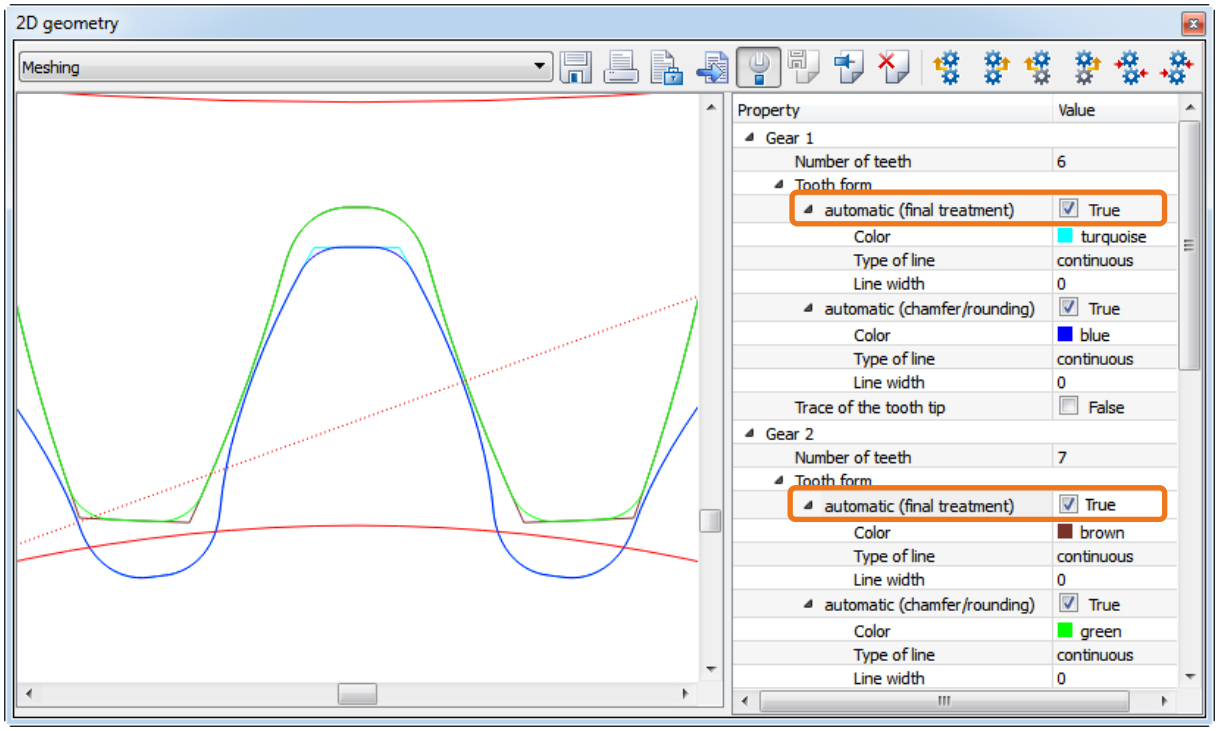


图 8.　激活所有的计算操作

在主界面窗口，所计算得到的重合度降到了 1.365。

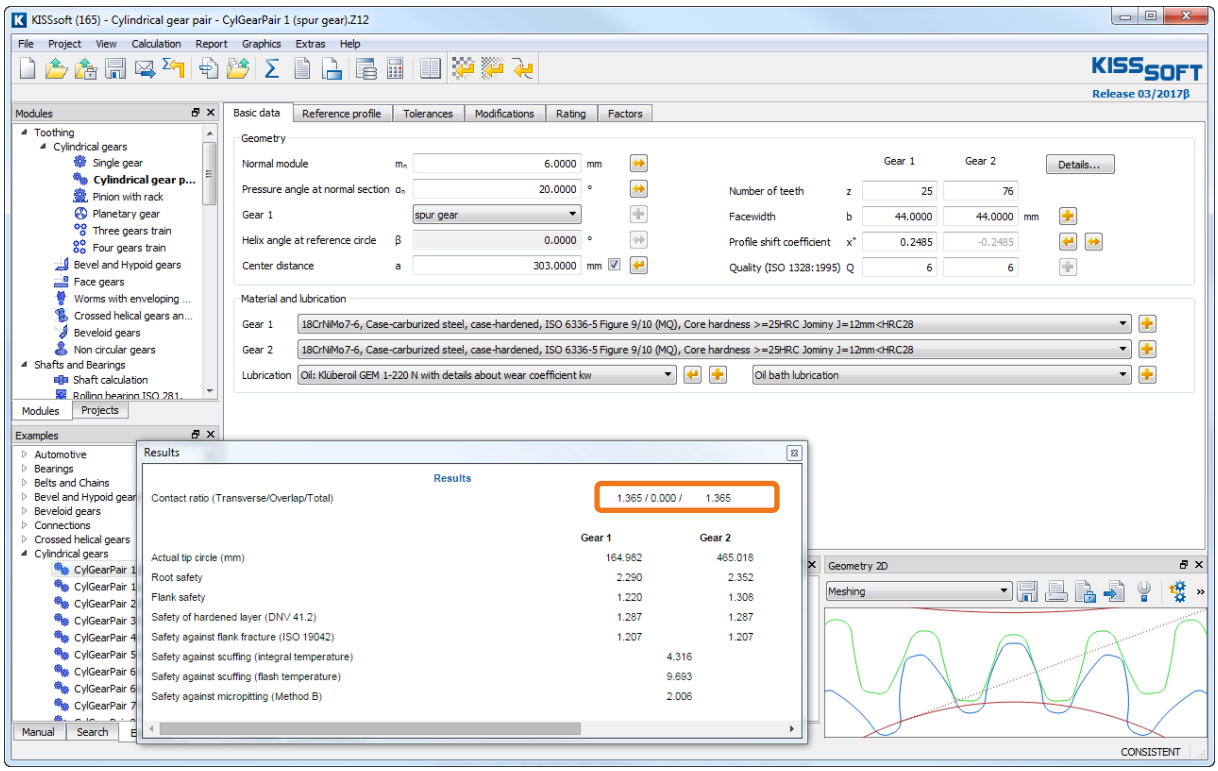


图 9. 由于齿顶倒圆角计算得到的重合度降低

2.3 最小的齿顶齿厚

在 KISSsoft 里面，默认最小的必要的齿顶厚的值是 0.2 倍的模数。然而这个值对于塑料齿轮（带圆角）来说比较小。用户应该设置为 0.4 倍的模数。点击 **"Module specific settings"** 设置中的 **"General"** 标签：

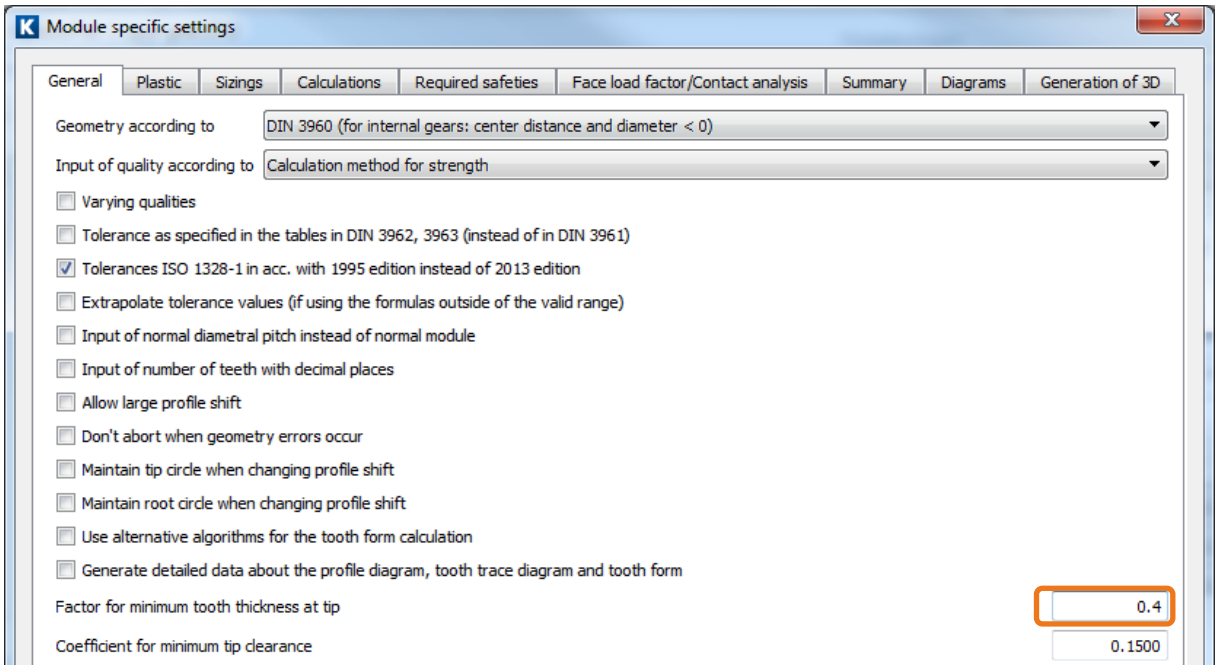


图 10. 在特殊设置里面定义必要的最小的齿顶齿厚

在下列章节，会显示优化齿形的必要的和有效的措施。

2.4 改变预先定义好的齿廓

用户可以通过改变齿轮的模数，压力角，螺旋角和变位系数来明显的改变一个定义好的齿形。特别是对于斜齿轮，用户通过这样的方法就能够找到一个比较合理的优化方案。因此，KISSsoft 提供给用户一个特别有效的工具（**精细选型**）来优化齿轮设计。针对一些特殊的问题，**精细选型**功能可以产生所有的可能的方案并且按照相关的评判标准对结果进行分类。

调用精细选型功能，点击 **"Calculation→ Fine Sizing"**。**KISSsoft 教程** 009 包含了更多的关于**精细选型**的功能。.

精细选型界面：

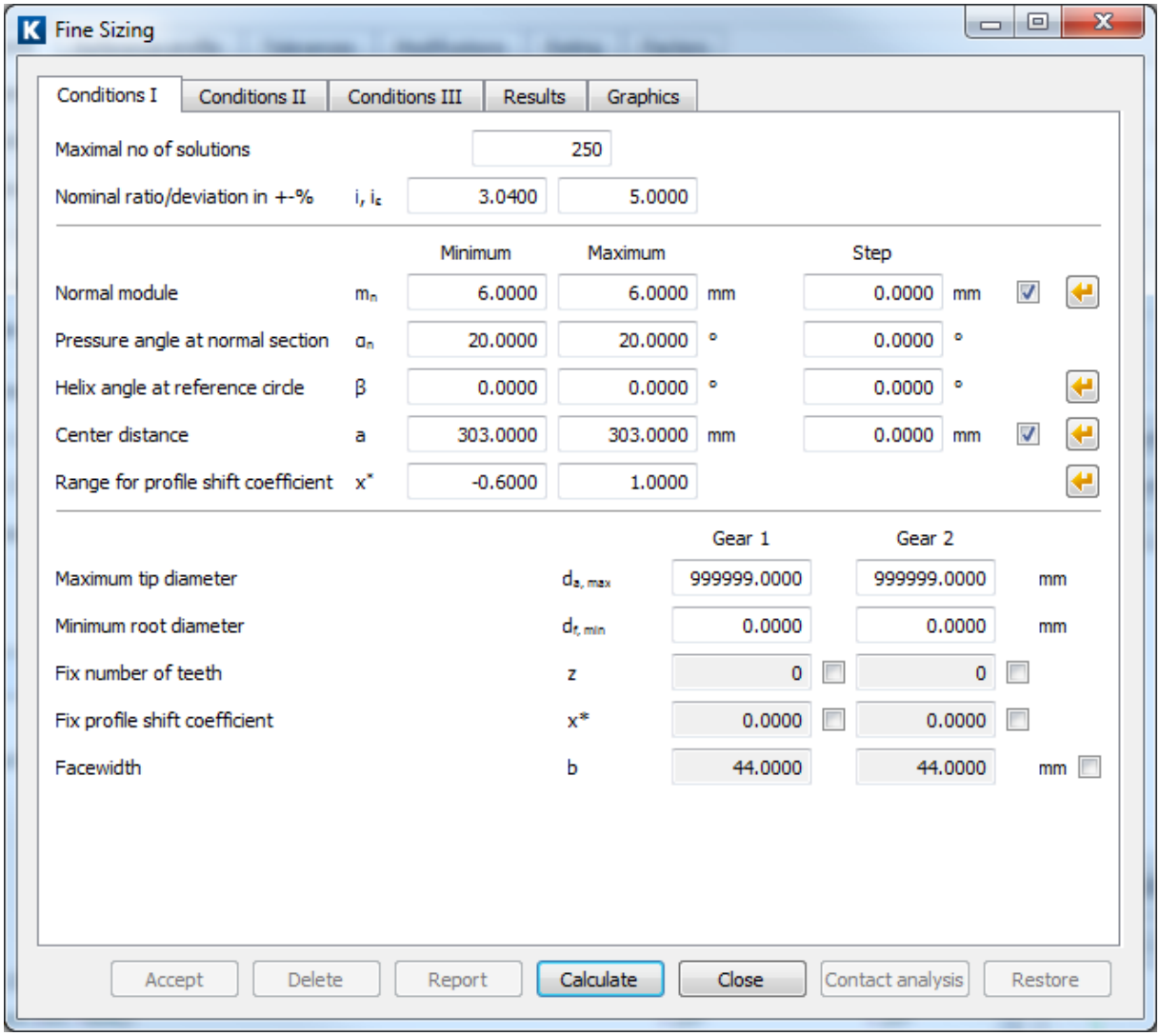


图 11. 圆柱齿轮精细选型

2.5 通过改变基本齿廓来改变齿轮的几何

如果用户改变基本齿廓（通常是采用深齿制来增加齿高），则齿轮的重合度也会改变。为了最大可能的保证齿形产生的噪音最低，运转平稳，一般要达到 2.0 的重合度（或更高）。这样就会将齿轮啮合过程中由单对齿啮合转换到双对齿啮合中刚度的突变的影响降到最低。 尽管用户可以通过给变合适的基本齿廓来达到所需的重合度，但是当实际加工中也会产生干涉。基于这个原因，只有一小部分的方案能够达到这个要求。为了使用户能够有效地解决这个问题，KISSsoft 的**精细选型**功能可以使用户选择所有的可能达到所需的端面重合度的方案，其选项如下显示：

为了选择这个方法，在 **"Cylindrical gear Fine Sizing"** 精细选型界面中，选择 **"Conditions III"**来打开相应的适合的界面：

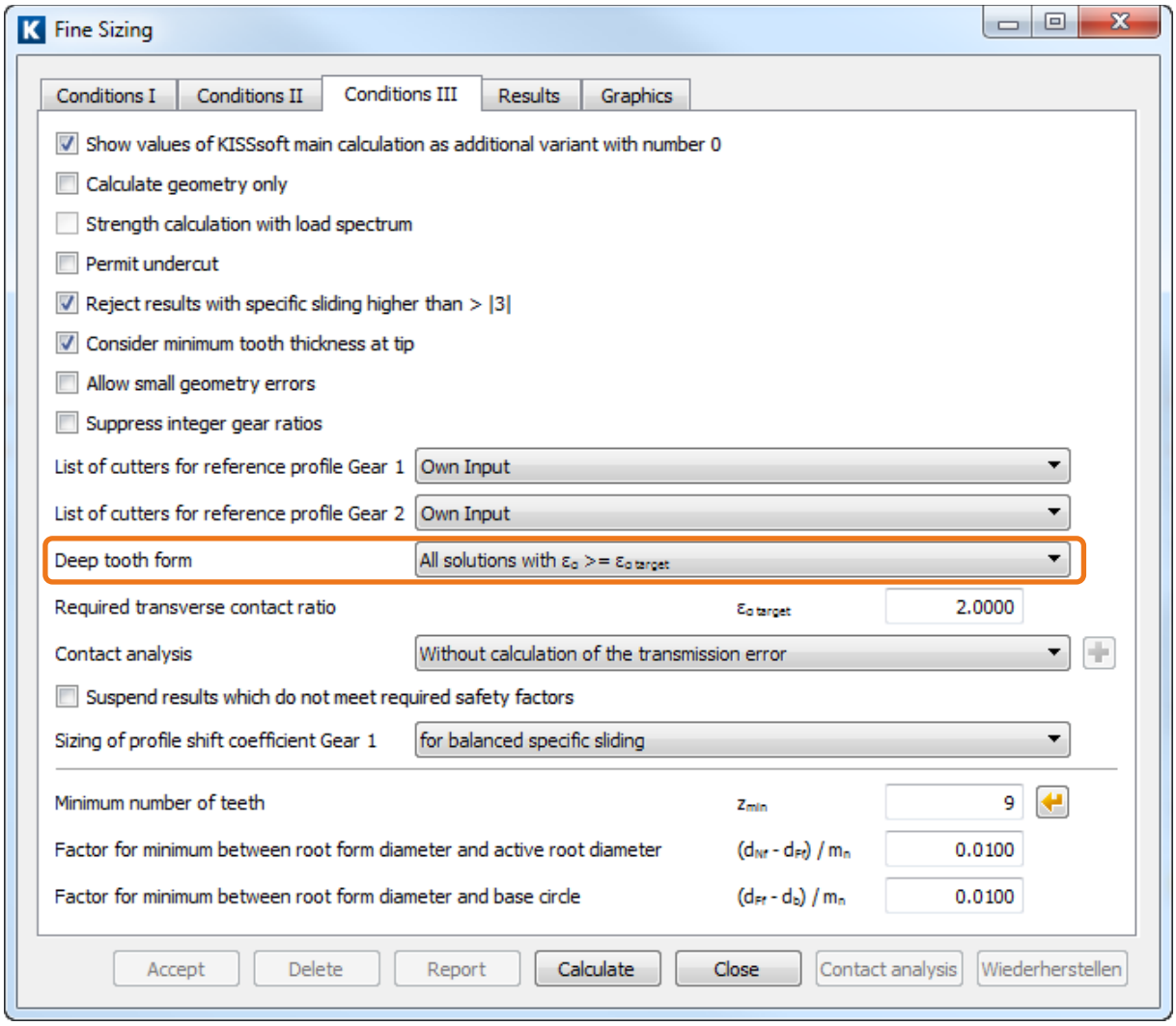


图 12. 深齿制精细选型

这里选择 **"Sizing of deep tooth form"**.

用户可以直接定义所需的端面重合度或者使用一个预先定义好的值。这个预先设定的值见 **"Calculation→ Settings"** 中的 **"Sizings"** 标签。

2.6 通过齿轮修形来消除接触冲击

当一个齿轮副旋转时，两个齿轮在啮合过程中，齿的冲击主要指"contact shock"（接触冲击）。齿轮啮合的精度越低，在承载下齿轮的变形越大，则由于冲击产生的噪音越大。基于这个原因，如果用户使用塑料齿轮，齿顶的渐开线就需要通过齿顶修形曲线来进行修形（齿形修形）。如果是金属齿轮，这个过程叫齿顶修形，尽管这种情况下，由于金属齿轮的刚度较大，修形量要远远小于塑料齿轮的修形量。通常这个修形曲线在两个齿轮上都要修形。不过，也可以只修一个齿轮（比如齿条驱动），不过一般要在齿顶和齿根都需要进行修形。修形的曲线一般包含三段递增的窄圆弧，这些都会在 KISSsoft 里面自动计算并将其施加到齿形上。

在 KISSsoft 系统中，用户可以通过两种方法输入齿形修形：

A) 在 "Modifications" 修形标签中：

这个新的选项只适用于 03-2008 及其以后的版本：

在 **"Modifications" 修形**标签里，用户可以在齿顶/齿根上定义不同类型的修形。

这个工具的有点在于用户在这里定义的任何修形都可以在主报告里有所罗列。意思是这些数据很容易输入并进行查看。

我们推荐用户在 03-2008 及以后的版本里面使用此界面进行修形的定义。这个指导会在另外一个教程里面进行描述。

方法 B 会在如下所述：

B) 在"Tooth form" 标签里面（如以前的版本）

用户在这里输入的齿顶修形和修形曲线是作为齿形一部分来定义并计算的。此时用户可以打开 **"Tooth form"** 标签：

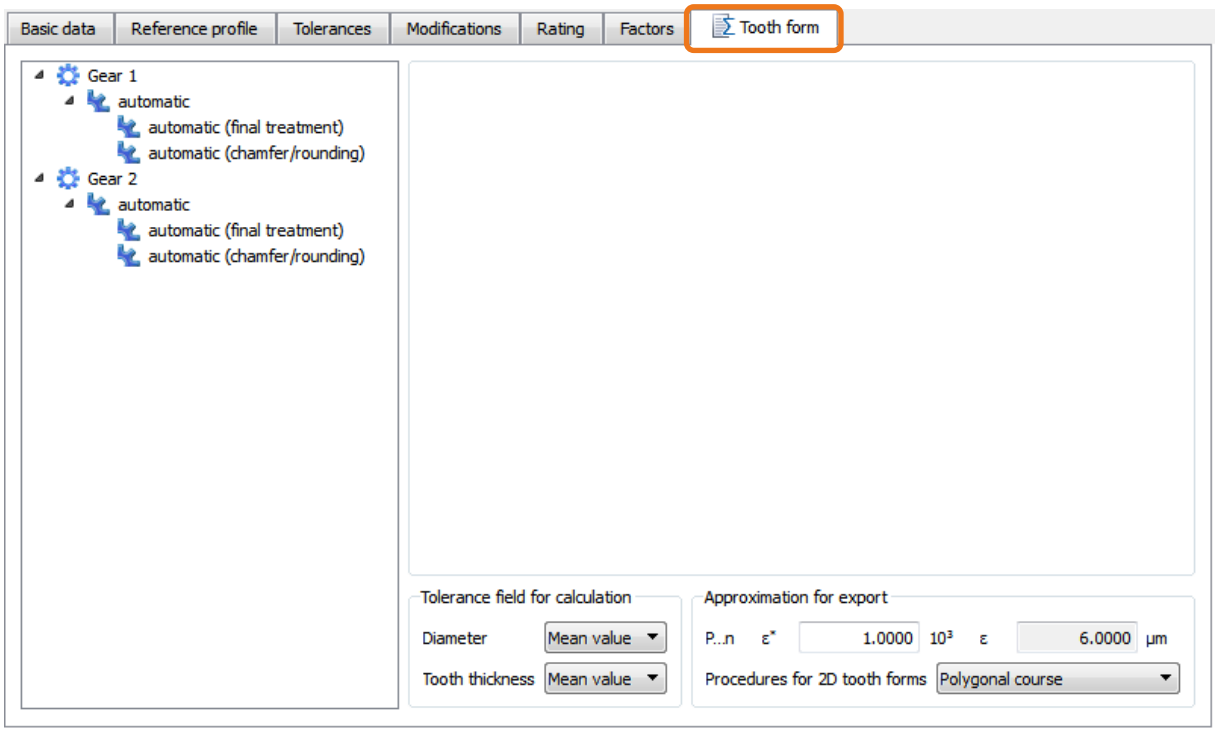


图 13. 计算 tooth from（齿形）

这里默认的计算设置是 "automatic"。这个意味着用来产生齿形的刀具的数据是自动从主界面定义的基本齿廓定义的。

在“automatic”上点击鼠标右键，打开可选择的计算操作的选项，然后点击鼠标左键，从而插入用户需要得操作。

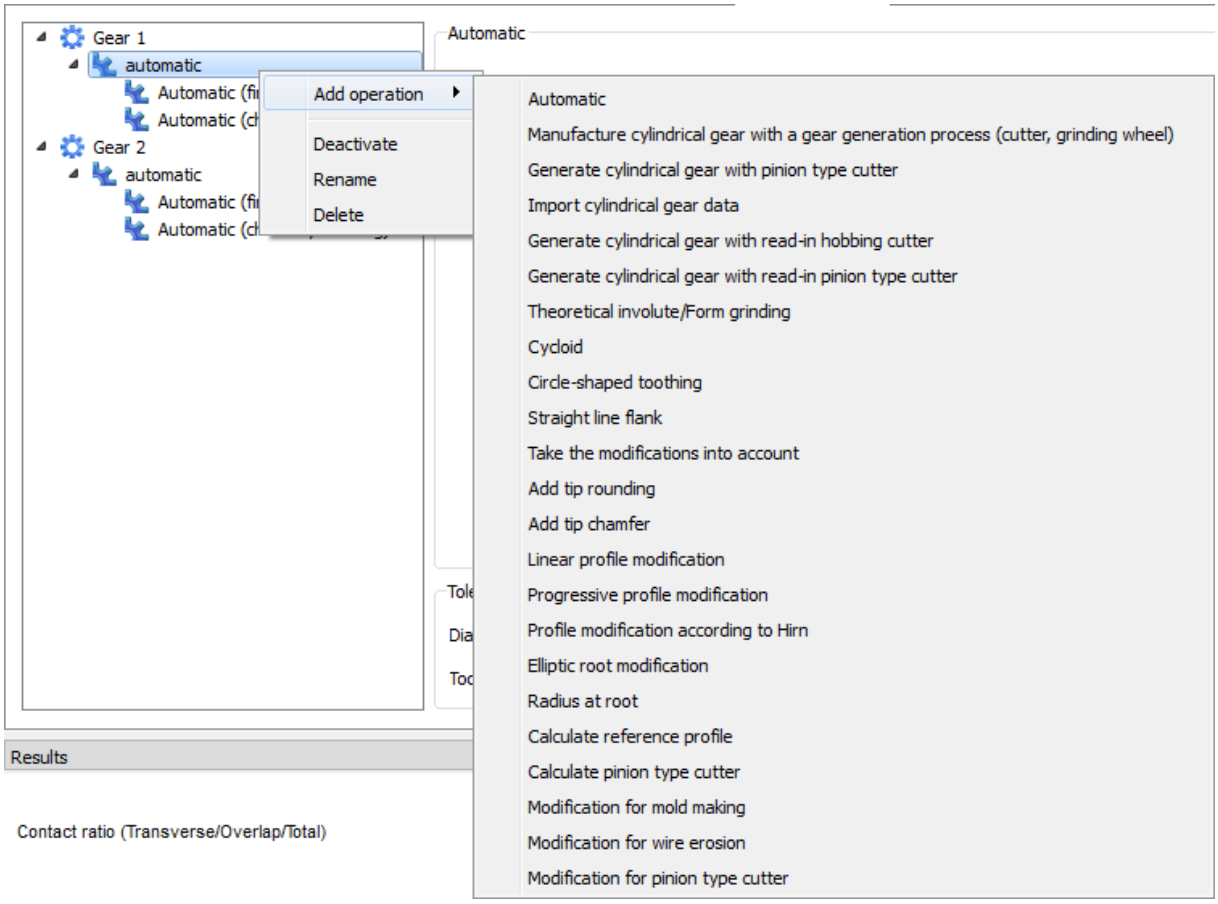


图 14. 对齿轮 1 的可选的 tooth form 齿形计算

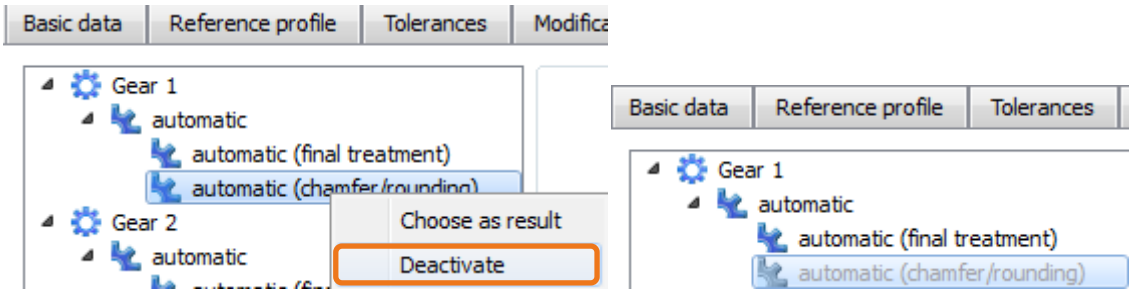


图 15. 在齿轮 1 上，考虑 "Deactivate tip rounding"冻结齿顶倒圆

用户不能自动生成齿顶倒圆。在这个例子中，由于包含另外一个修形（比如齿形修形），齿顶倒圆必须在最后一步加上。这个就是为什么在这里需要用户先要冻结掉这一步。

在基本的齿轮几何定义好后，用户可以修改渐开线。不同的方法已经集成在了软件里面。用户可以选择：线性的或者渐变形的齿形修形，或由.Hirn[1]文献定义的三段相切圆弧。每一种修形都可以与齿顶倒角或齿顶倒圆相组合。在这种情况下，用户必须定义修形的高度（修形开始的直径）及修形量。基于齿形的重合度、精度等级、材料类型（塑料还是金属）、刚度及载荷，每一个值都可以优化选型出最优的值。在 Progressive profile modification" 渐变形修形里，可以通过修改其相应的系数 factor 来定义曲线的形状。

相比线性修形，在渐变形的齿形修形中，它可以提高接触长度和改善局部的润滑性能。这些齿形修形的公式定义如下：

Linear correction: 线性修形 $\delta s(r) = Ca * \delta r / \delta rK$

Progressive correction 渐变形修形: $\delta s(r) = Ca * (\delta r / \delta rK)^{Exp}$

δs 齿形修形量（齿厚修形）
r 齿形上任意一点的半径
Ca 在齿顶圆上的齿形修形量
δr ra – r
δrK ra – raK
ra 齿顶圆半径
raK 半径，修形起始点半径 Radius, at which the correction begins
Exp 指数= Factor/5
Factor: 系数：范围 1-20，通常此值范围为 5-10
（用户可以输入自定义的值）

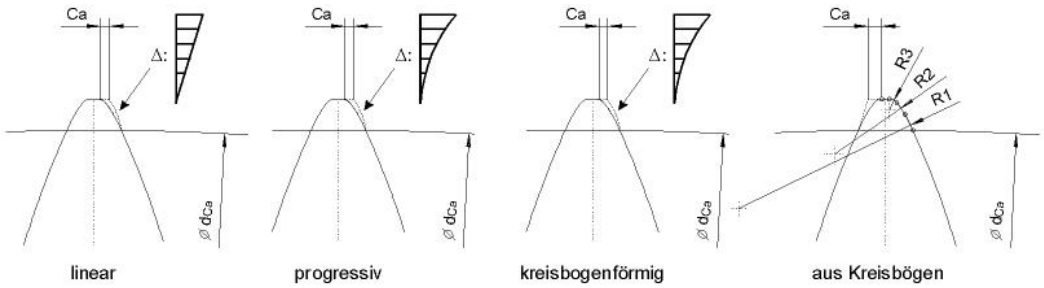


图 16. 齿形修形类型

点击**"Modification starting at diameter"**右侧的选型按钮，从而获得一个合理的修形起始点和修形量。

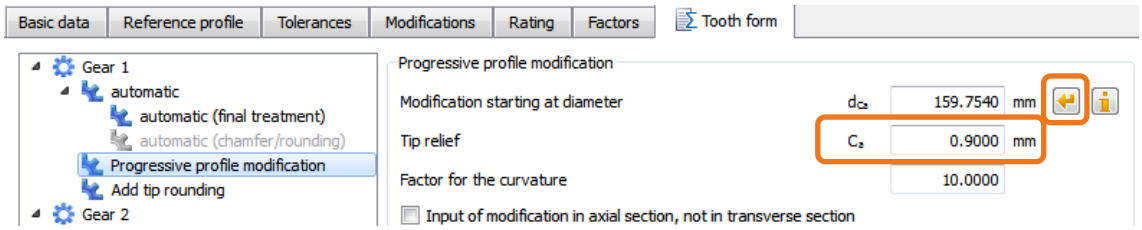


图 17. 修形推荐

如果齿轮的加工是由模具成型（比如注塑模或者粉末冶金），所有的尖角都是需要倒圆的。用户可以在所选的修形齿顶上独立的输入倒圆半径。用户也可以选择 **"Add tip rounding"**选项来添加齿顶的倒圆半径。

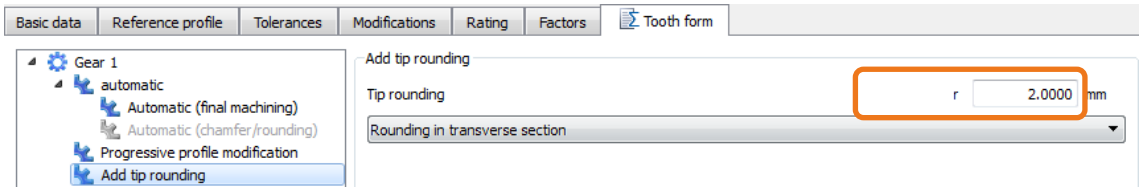


图 18. 增加齿顶倒圆

用户可以反复试验从而得到最优值。用户可以打开"Meshing" 窗口来查看齿轮接触和齿形的详细信息（见窗口右下角的标记）。

当修改齿形时，为了比较不同的设置，用户应该把上次得到的齿形保存起来，如图 4。

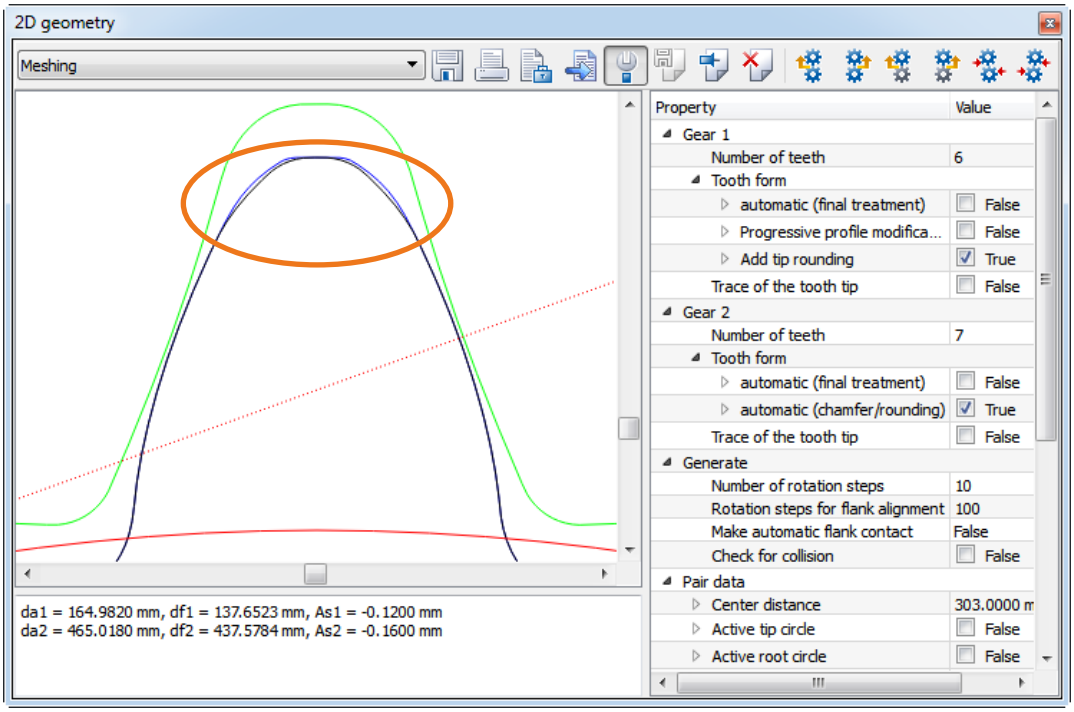


图 19. 比较齿形的修形

首先打开主窗口点击**"Tooth form"** 的标记，保存后并计算。选择**"Progressive profile modification"**中的系数为 10。用户还可以使用**"Add tip rounding"** 计算来增加齿顶半径 r = 2 mm 的圆角。更改系数为 18 和圆角半径为 r=1mm 再次运行计算并比较。

2.7 优化齿根

在齿根和渐开线过渡的区域使用半径较大的圆角能够明显提高疲劳安全系数。如果齿轮是由滚齿工艺加工，有时候很难得到一个优化的齿根圆角即使是用一个很好的齿顶倒圆的刀具。然而，通过适当的修形（低于可用的齿根圆直径），用户可以很大程度上的提高安全系数。

如果用户想从齿形上消除根切，这样的修形是“非常”有用的（见下图）。

KISSsoft 也可以自动生成这样的修形。

如 2.6 章节所描述的增加齿顶修形方法，通过点击"Elliptic root modification"， 并输入确切的数值，用户可以计算出最优的齿根圆角并将其作为齿根的一部分进行优化。

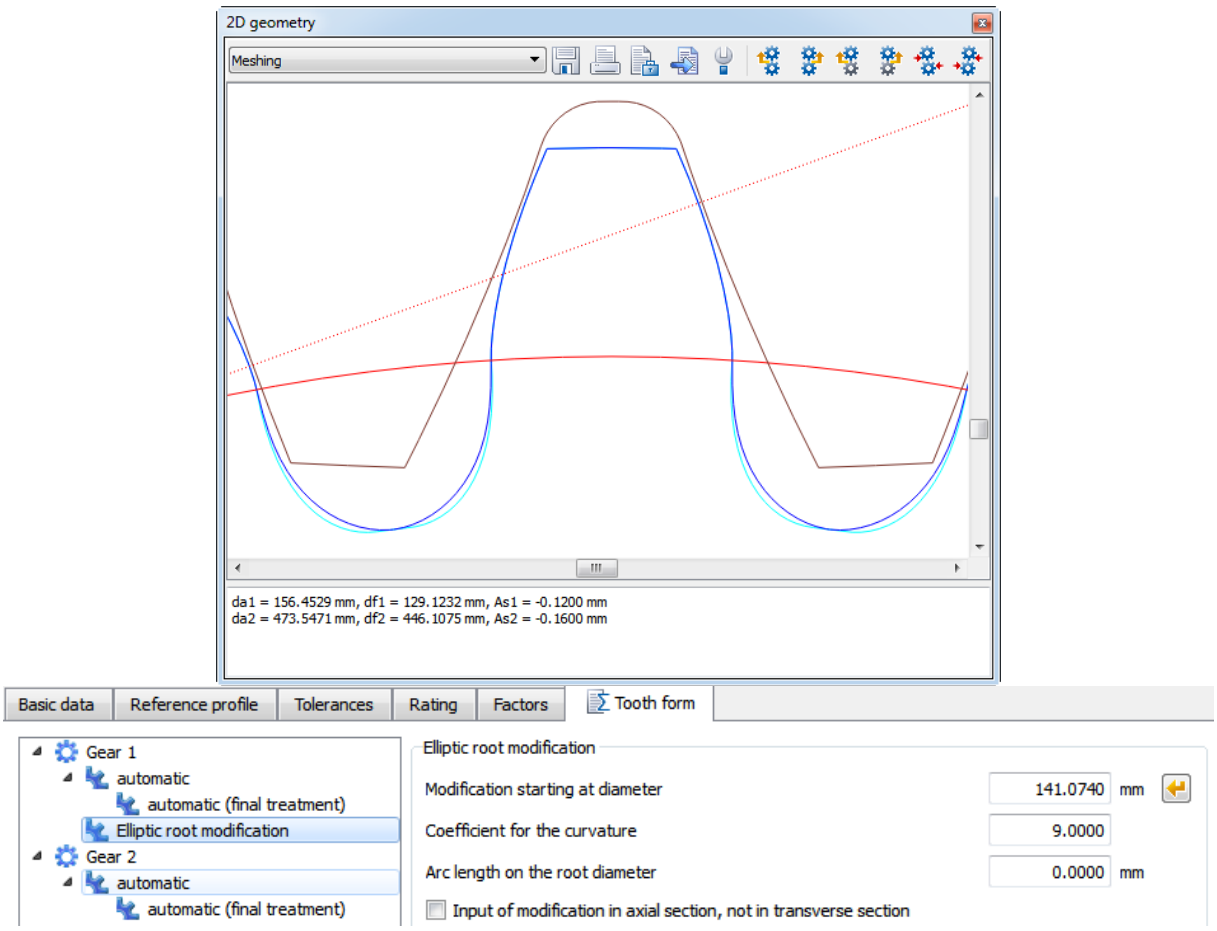


图 20. 齿根齿形，无修形（轻蓝绿色，带根切），带修形（深蓝色）

重要提示： 如果在配对齿轮上，用户联合使用修形曲线或齿顶倒圆，齿轮的齿根倒圆从数学上可以高于有效渐开线起始圆。如果这样，非常有必要在啮合图中做详细检查（见下一节）。

2.8 检查啮合图

如果用户优化了齿根齿形，我们强烈推荐用户检查齿轮啮合的精确性。齿轮之间的接触应该始终在实际的渐开线区域之间。 齿之间的干涉，特别是从驱动齿轮的齿顶到被动齿轮的齿根，会引起很大的损伤。 用户应该使用最小的中心距来检查啮合（而且，从安全角度，也应该使用最大中心距再检查一遍）。用户可以在屏幕中直接输入中心距。

如果用户想检查啮合是否正确，使用**"Check for collisions"** （检查干涉）功能是非常有用的。点击复选框来选择激活这个功能。然后点击合适的标签  **"Flank to the left or right"**，定位齿面的位置贴合到左边或右边。如果齿面接触，一个黑色的方框会显示出齿面的接触。如果发生干涉，则方框会变成红色。

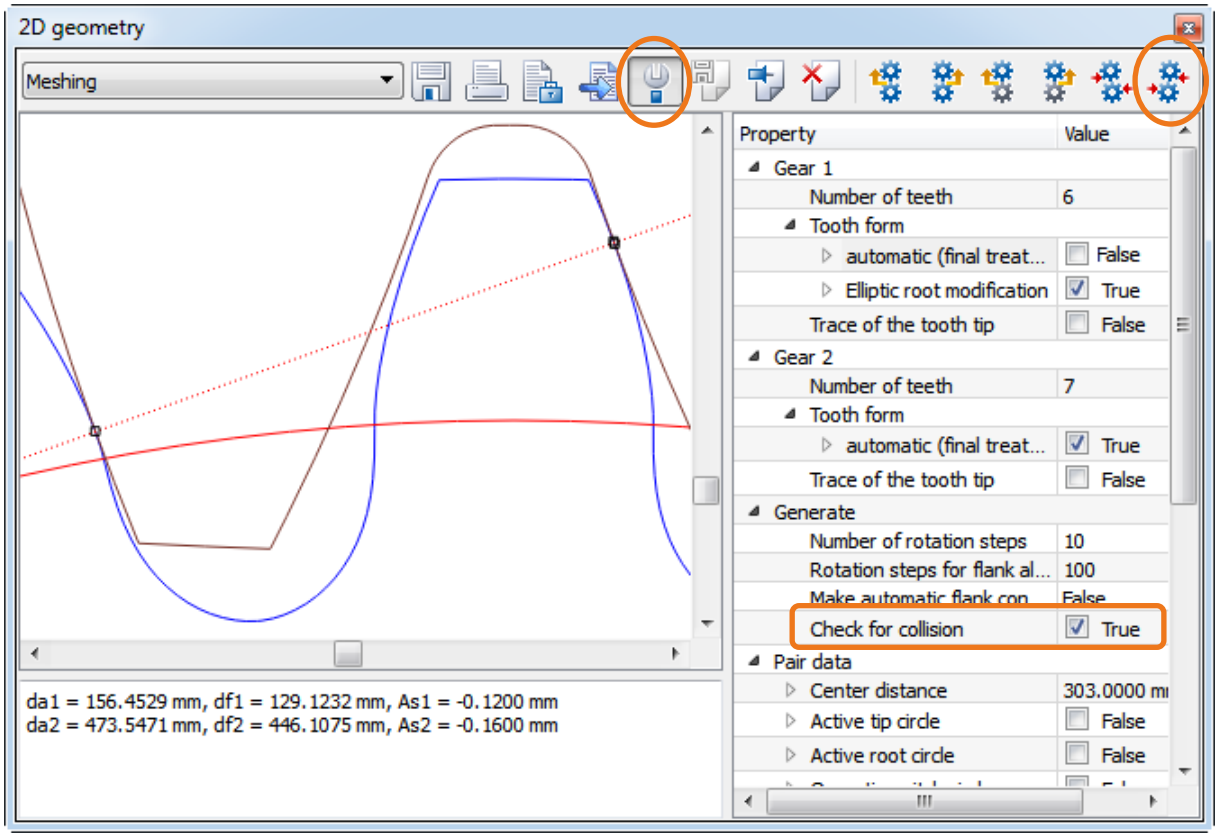


图 21. 激活干涉检查

点击  **"Properties"** 标签来显示关于图形的一些设置，这里用户可以激活干涉检查。

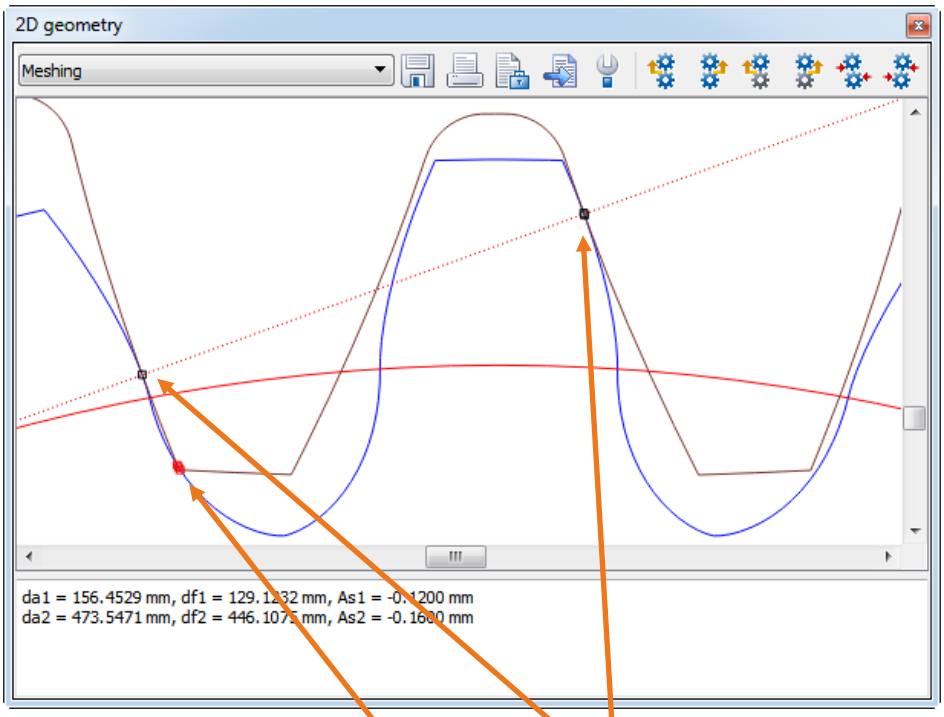


图 22. 干涉检查

2.9 检查齿轮啮合之间的咬合

通过适当的齿厚减薄量，用户可以避免齿轮的咬合（如第 4 节所描述）。如果用户不能给出理论上所需要的最大的齿厚减薄量（比如为了保证最小的齿顶厚不至于太小），或者因为别的原因引起齿轮的咬死，用户必须仔细检查。

当齿轮啮合时，齿轮应该在齿顶和齿根圆碰撞前齿面咬合紧（也就是在齿侧间隙为 0 的时候，应该还有齿顶隙）。这个重要的提示是从真正的齿轮寿命中得来的，因此必须注意，因为齿根处的干涉冲击远比齿面间的咬死严重的多。

在 KISSsoft 里，用户可以直接在**"Meshing"** 窗口里，直接减少中心距直至没有齿侧间隙。在这种情况下，在一个齿轮的齿顶与另外一个齿轮的齿根之间必须仍然始终有齿顶间隙！

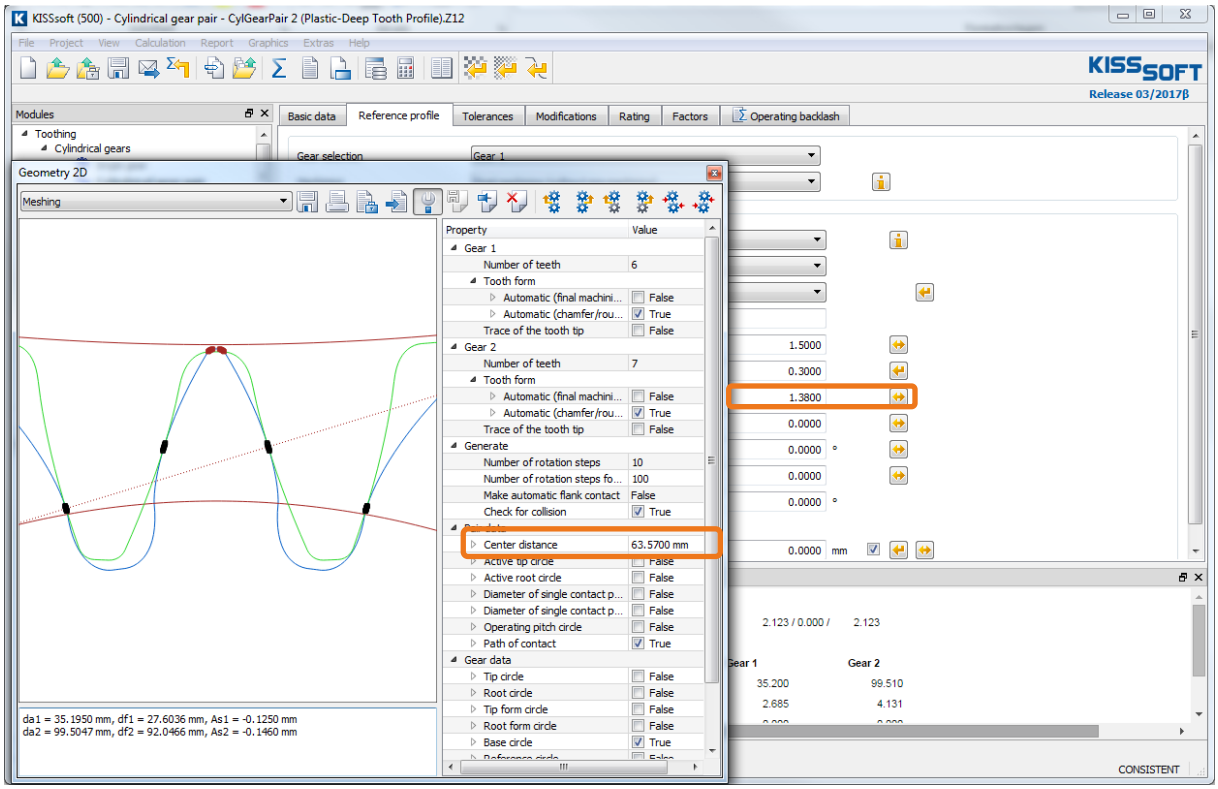


图 23. 这是个“很坏的”例子：当齿侧隙为 0，齿轮 1 的齿顶已经深深的嵌入了齿轮 2 的齿根区域！

3 强度计算

3.1 简介

当设计和优化一个齿轮的时候，计算在预期的寿命下的齿根、齿面和磨损的安全系数是非常重要的。

跟钢制齿轮一样，塑料齿轮的材料性能（齿根强度和齿面强度）很大程度上决定了齿轮的循环次数。同时，温度和润滑类型（油润滑、脂润滑或干摩擦）也对它们的性能有很大的影响。

尽管计算钢制齿轮的齿根强度只需要一个值（比如，17 CrNiMo6 材料的齿根疲劳极限[σ_{Flim}]：525 N/mm^2），但对于塑料齿轮来说，就需要几个表格来规定。这个数据根据是油润滑、脂润滑还是干摩擦分成几个独立的表格存在 KISSsoft 系统里。计算时，这些数据会被自动处理。这样用户可以很简单的修改材料数据。在手册里面，用户可以找到更多的关于这方面的信息，特别是在 "Materials for gears", "Plastic as specified in VDI 2545 …", "Plastics" 章节中。

3.2 输入用户自定义的关于塑料齿轮的数据

KISSsoft 材料库中已经包含了一些塑料的材料性能，如果用户已经知道塑料材料的数据，用户可以使用下列所描述的方法存到 KISSsoft 数据库里。这里，我们使用已有的“POM”材料来描述这个步骤：

打开数据库，点击 **"Extras“-> "Data base tool"**，打开材料库，并使用其计算齿轮

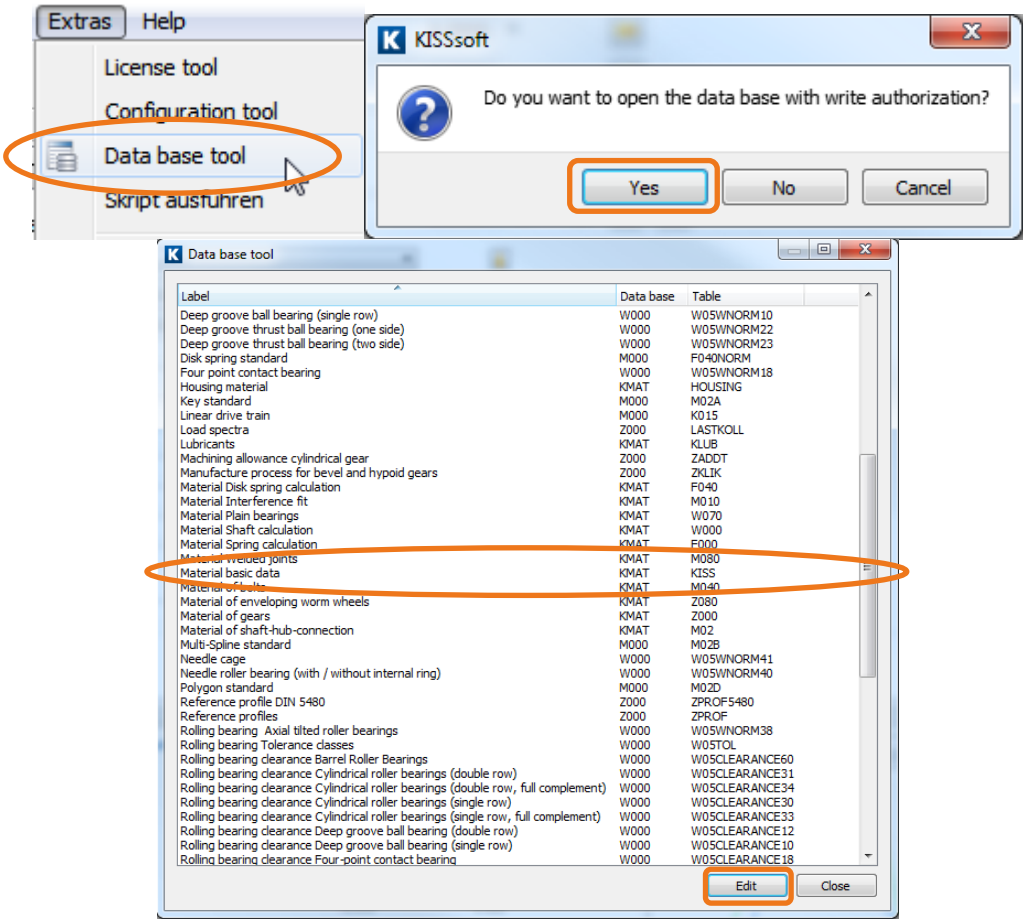


图 24. 打开例子

如果用户生成一个新的材料，必须先在材料库里建一个基本材料数据库。点击 **"Material basic data"**来定义基本的材料。然后点击 **[Edit]** 来打开相应的基本材料库。点击 **"+"** 来创建一个可以编辑的新的材料。如果用户选择了一个已经有的材料，则这些数据都会自动传递到新的材料里，这样新的材料就可以增加。用户可以根据自己的需要输入任何想编辑的参数。。

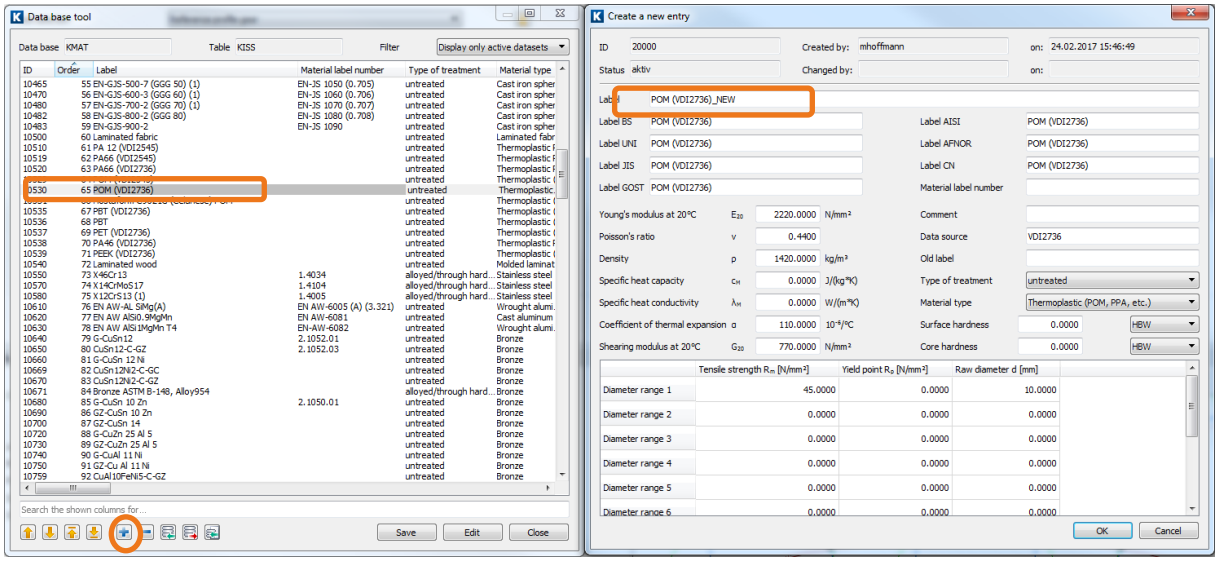


图 25. 创建一个新的数据档案

点击 **[OK]** 来确认用户输入的信息并关闭 "Edit entry" 菜单返回数据库。然后点击 **[Save]** 来保存数据。一个保存成功的提示信息会出现。

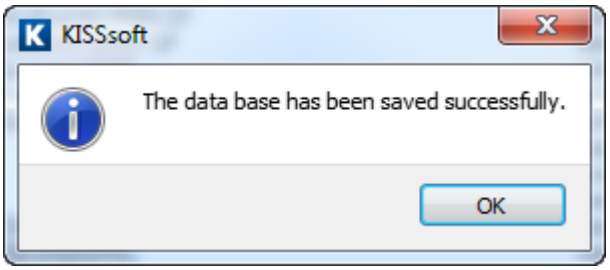


图 26. 数据库里新的数据已经被成功的更改并保存

下一个章节会用到材料 POM （已经存在 KISSsoft 里），来展示给用户那些条目会用到。如 **"Material basic data"** （**材料基本数据**）和 **module-specific data** （**特定的数据**），在这里选择 **"Material Gears"** （**齿轮材料**）

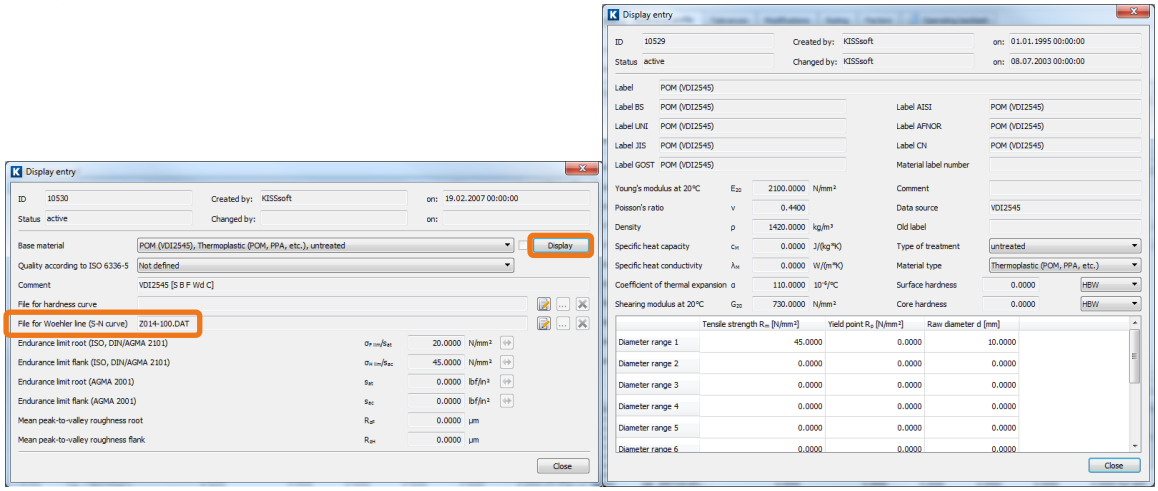


图 27. 塑料齿轮编辑： "Material basic data" （基本材料）-特定材料里的 "Material Gears" 齿轮材料

最重要的信息是在如图 27 中标记的**"File for Woehler line"**（SN 曲线）中包含。在这里用户输入在那个文件里面定义、存储温度和润滑数据的文件名。用户应该将其存储到安装目录里：（通常在：C:\Programs\KISSsoft-03-2017\ext\dat）：

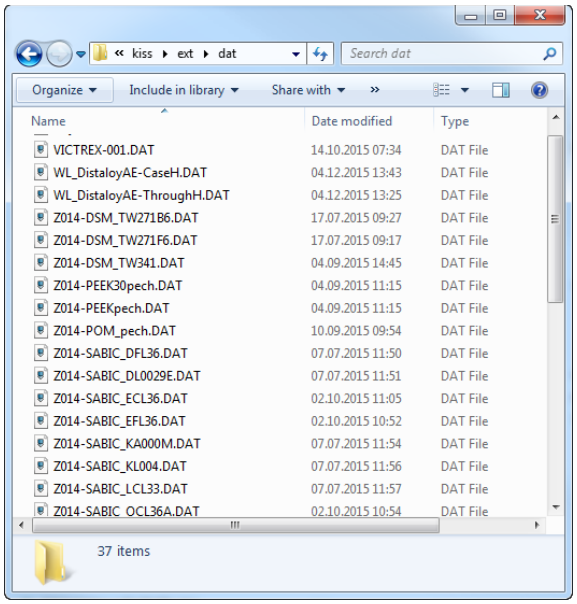


图 28. 保存用户的自定义塑料材料数据

现在用户可以保存材料数据（用户可以给定任意名字）。最好的方法是直接复制一个已有的塑料材料的文件（比如： POM 材料的文件：Z014-100.DAT ）,重新命名后然后按照用户的需要将其进行编辑。

可以从 Z014-100.DAT (for POM) 提取： Young's modulus 杨氏模量
（一个一维的表：表示杨氏模量跟温度的关系）

```
:TABLE FUNCTION Young's  modulus
      INPUT X ToothTempRoot TREAT LINEAR
DATA    -20      0     20     40     60     80    100    120
       4400   3950   3500   2950   2400   1800   1400    800
END
```

可以从 Z014-100.DAT (for POM) 提取： Flank strength with oil lubrication 油润滑下的齿面强度
(Two-dimensional table with sig.Hlim dependent on temperature: Columns and load cycles: lines)
（一个二维的表格：sig.Hlim 与温度（列）和循环次数（行）的关系）：

```
-- Data for flank strength with oil lubrication
-- From Niemann, diagram 22.4/4, for PA66, oil lubrication
:TABLE FUNCTION FlankenSigHNOel
      INPUT X ToothTempFlank TREAT LINEAR
      INPUT Y Load change    TREAT LOG
DATA
          20      40      60      80     100
0        120     115     108      99      91
1E5      120     115     108      99      91
1E6       95      90      85      78      68
1E7       70      67      63      58      50
1E8       52      50      47      44      37
1E9       45      42      40      38      32
1E10      43      41      38      36      30
1E11      43      41      38      36      30
1E99      43      41      38      36      30
END
```

3.3 考虑真实齿形几何影响的强度计算

齿根强度的计算方法是根据 VDI 2545, VDI 2736, DIN 3990, ISO 6336 或 AGMA 2001 使用的一个简化的齿根应力模型，这个应力名义上是在一个定义的截面上计算的（在 DIN 和 ISO 中定义的一个以 30 度相切于齿根圆角的一个点）。 然而，对于压力角与 20°有较大区别或者齿根圆角与标准的变化较大（见如下），则这个截面就与承受最大载荷的危险截面相差很大。此时应该使用 "Graphical method" 图解法（根据 Obsieger in "Die Konstruktion"中所描述的）来进行计算，它能精确的符合所选标准中的相应的计算公式（在 DIN，ISO，AGMA 中定义的 Y_F 和 Y_S ），从齿轮齿的中部到齿根这个齿根区域，这个方法大约计算 50 个截面，然后选择哪个截面是有最大的弯曲应力，然后选择其作为强度计算。这样就给出了一种更精确的计算方法可以使用在非渐开线的齿形强度计算中。如果得到跟多信息，请参照手册中的相关章节。

在 KISSsoft 中激活 "Graphical method"（图解法）：在 **"Rating"** 标签里并点击屏幕右侧的 **[Details]**按钮，这样打开下拉选项 **"Form factors Y_F, Y_S"** ，然后选择 **"Using graphical method"。**

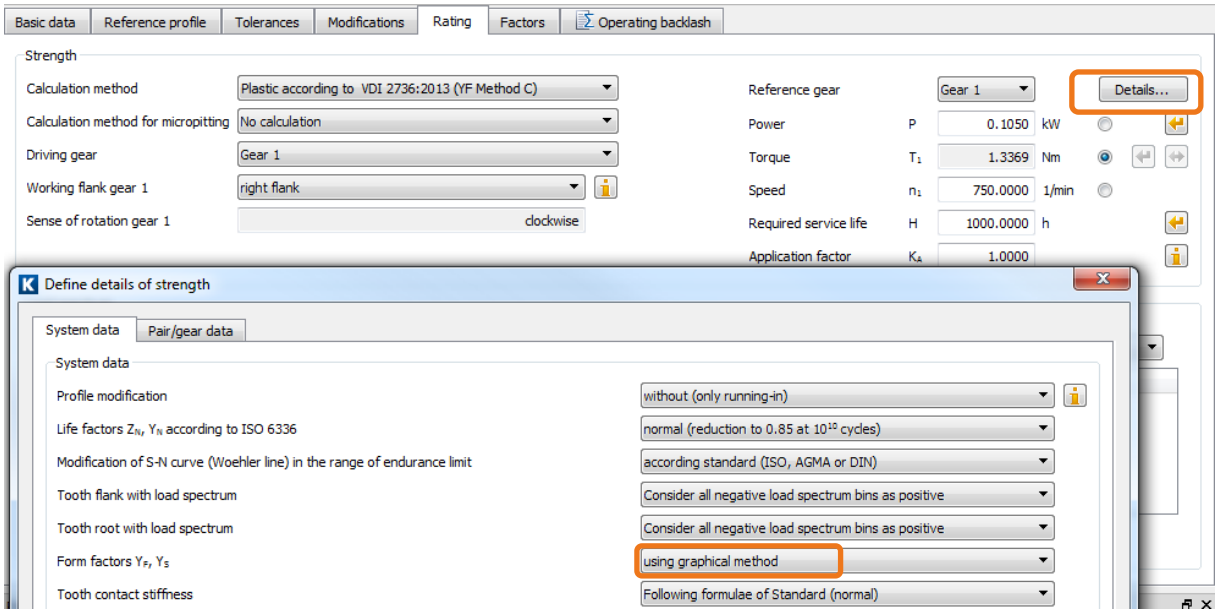


图 29. 激活使用图解法来计算强度

现在，每个计算会自动的作为首选来计算齿形并从其齿形中推导出 Y_S 和 Y_F。

在 KISSsoft 里面，用户也可显示齿轮的齿根处的应力。在 **"Contact analysis"** 标签里，输入相应的设置并点击计算。

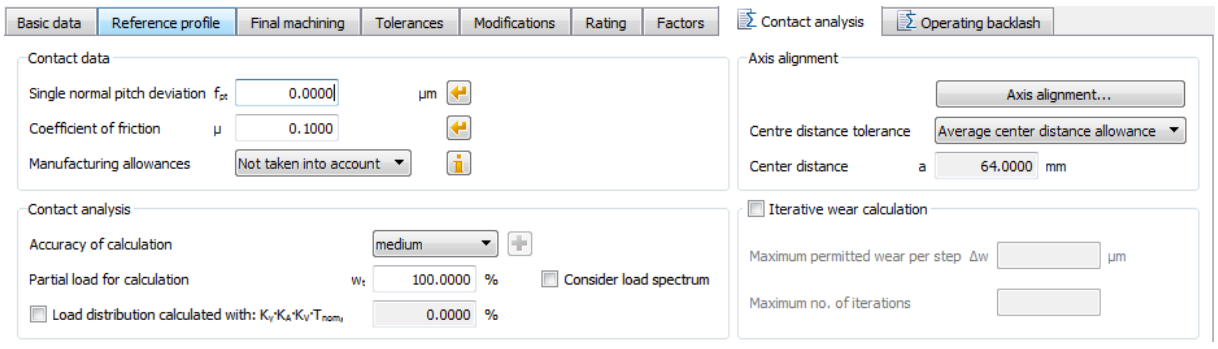


图 30. 计算接触分析

进度条显示计算正在进行。

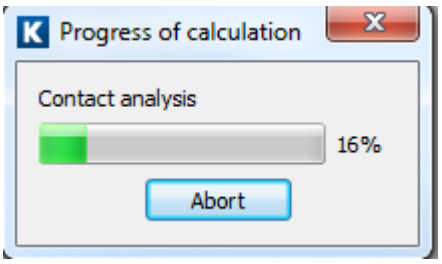


图 31. 接触分析计算进程

按照用户需求，可以选择所显示的图形： **"Graphics"→ "Contact analysis"**，正如我们的例子所述，法向力曲线和法向力分布及齿根应力曲线。

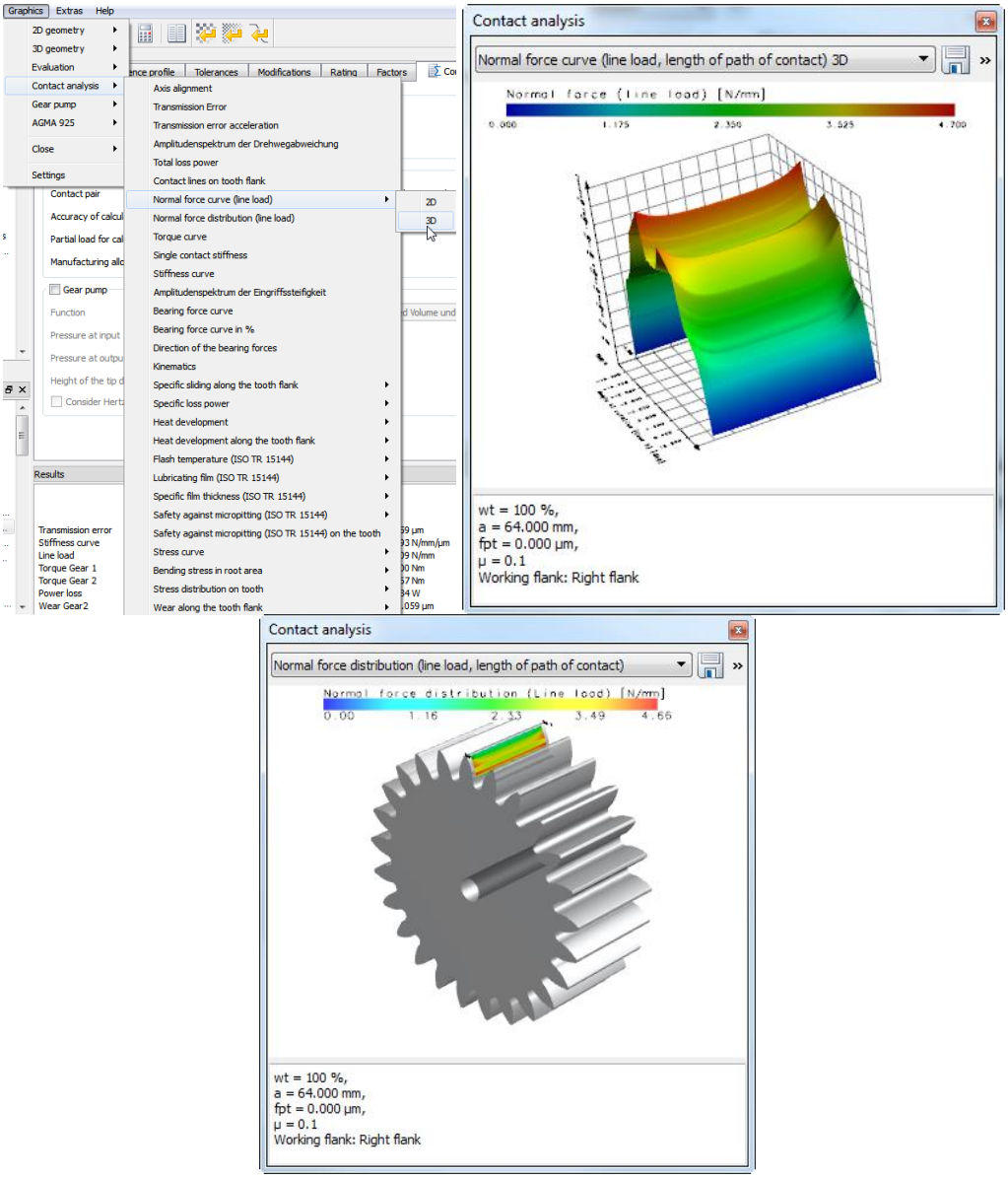


图 32. 例子中的 "CylGearPair 2" 啮合过程中的法向力曲线

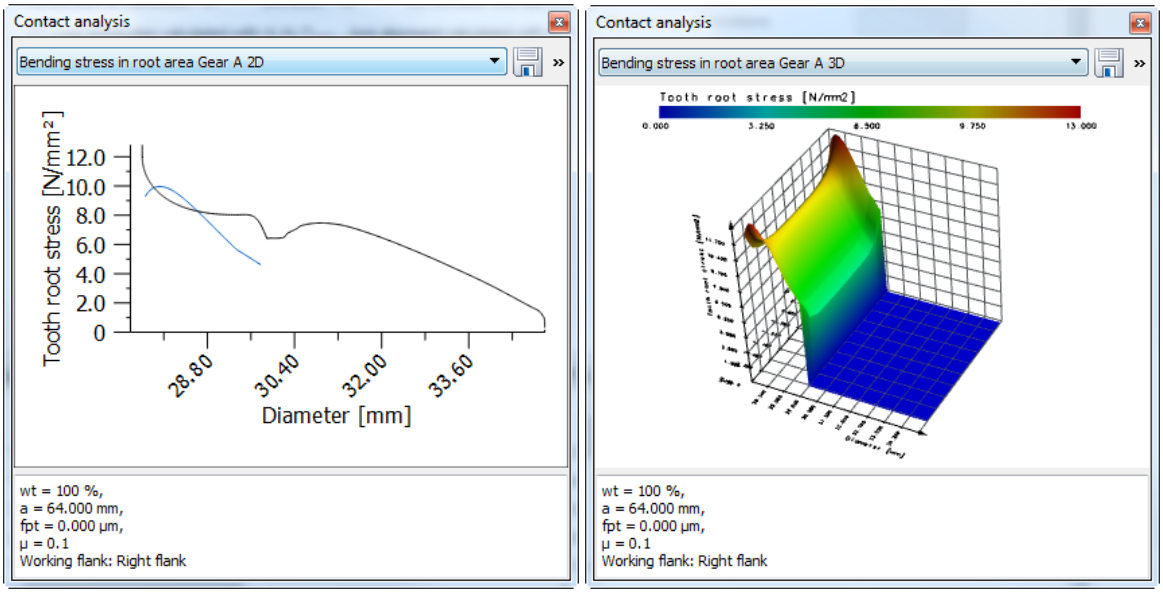


图 33. 齿根应力，在齿轮 1 中齿根应力的连续分布

4 定义齿厚偏差

4.1 简介

在精密工业机械中，相比于模数为 1 或更大的齿轮，相对的偏差（齿厚公差/偏差）通常比较大。如果相关中心距公差很大，齿轮精度等级很低，用户必须选择一个较大的偏差，以防齿轮咬死。另外，塑料齿轮还有会在吸水后膨胀的趋向。

经验证明，在开始设计齿轮的时候就把齿厚偏差定义好是比较好的。如果在齿形上先优化了很多（正如此教程所描述的），结果后来发现有很大的偏差，这样就会“蚕食”掉在齿厚上修形所做的努力，这样的做法是没有意义的。

使用 DIN 3967 中所规定的齿厚偏差。为此，用户必须知道工作温度及齿轮和壳体的热膨胀系数。用户必须考虑膨胀产生的影响。这里，尼龙（PA6）是膨胀最严重的的塑料（在吸水后，膨胀可达 2%）。

4.2 计算工作侧隙

KISSsoft 里面提供了一个很好的塑料齿轮的计算例子，名字为 "CylGearPair 5"。在圆柱齿轮计算模块中，打开这个例子：

在这里，用户必须注意选择的齿轮 1 和齿轮 2 的公差及其中心距公差：

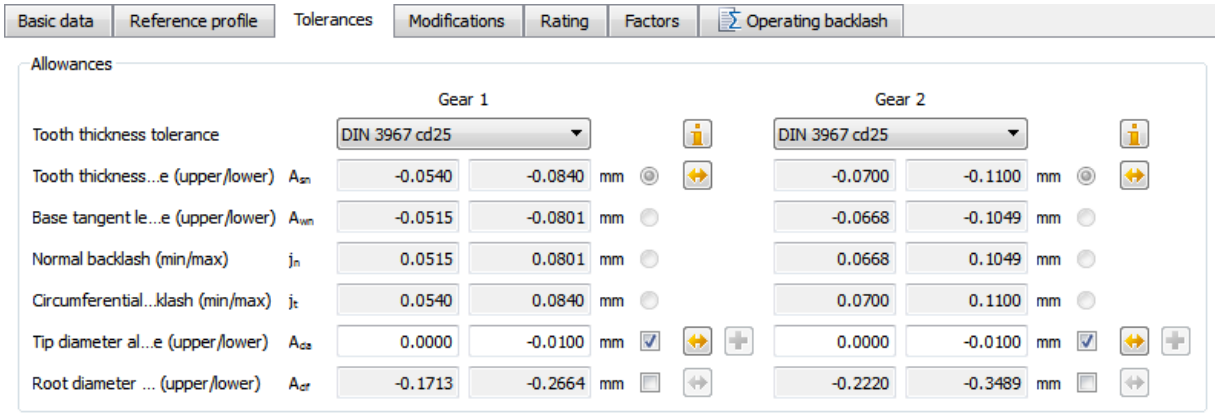


图 34. 预先选择的齿轮 1 和齿轮 2 的公差及其中心距公差

在用户计算工作侧隙之前，用户必须点击 **"Σ"**（计算）来计算它们之间的相互啮合。然后点击 **"Operating backlash"** 标签来计算工作侧隙：

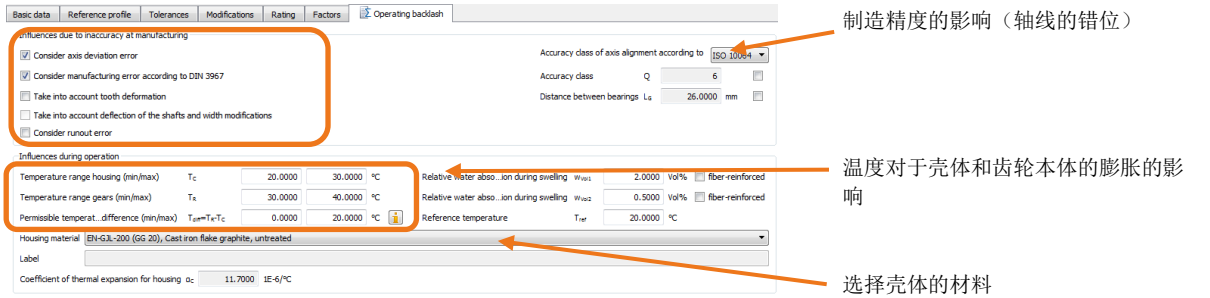


图 35. 工作侧隙计算的相关设定

在这个例子 "CylGearPair 5"里，所定义参数会在啮合过程中发生咬死，当用户计算工作侧隙时，这些警告信息会出现：

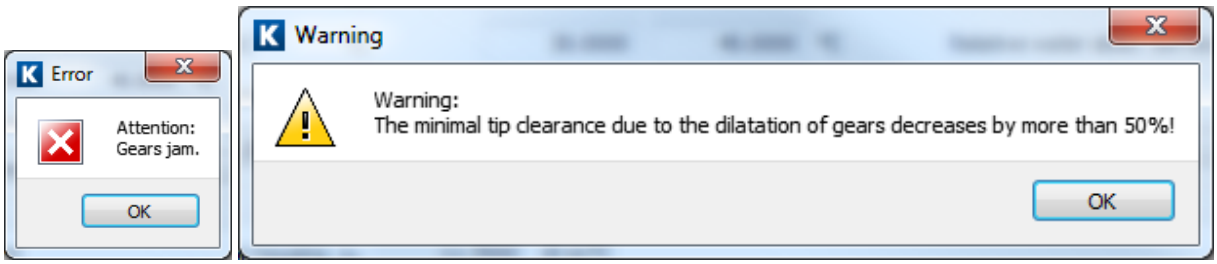


图 36. 错误警告： "Gears jam" 齿轮咬死：齿顶干涉

点击计算按钮  右侧的：  创建报告按钮：来显示报告：

Smallest operating backlash

- Temperature combination				
Gear body temperature		(°C)	[TR]	50.00
Case body temperature		(°C)	[TC]	50.00
- Circumferential backlash				
	(min.)	(mm)	[jtwop.i]	-0.097
	(max.)	(mm)	[jtwop.e]	0.003
- Normal backlash				
	(min.)	(mm)	[jnwop.i]	-0.091
	(max.)	(mm)	[jnwop.e]	0.003
- Radial clearance				
	(min.)	(mm)	[jrwop.i]	-0.120
	(max.)	(mm)	[jrwop.e]	0.003
- Torsional angle with fixed gear 1				
	(min.)	(°)	[φjt.i]	-0.0947
	(max.)	(°)	[φjt.e]	0.0026

Additions:				
Change of pitch		(µm)	[Δpt]	14.255 16.847
Pitch error due to dilatation		(µm)	[Errfpt]	2.592
In % of the permissible pitch error		(%)	[%Err]	37.0
Minimum tip clearance		(mm)	[c.i]	0.147
Diminution of the tip clearance in %		(%)	[%c.i]	63.5
Transverse contact ratio			[εα.e/i]	1.777/1.756

图 37. 从工作侧隙计算报告中截取的报告的一部分

负的圆周侧隙的表明这对齿轮副出现干涉咬死。

4.3 增加工作侧隙

在最坏的情况下，圆周侧隙或许为-0.097mm（见文本中带标记的部分）。为了预防齿轮咬死，这个值必须大于 0。软件给了一个提示信息告诉用户要修改齿厚的变动量的最小值。

a) Proposed value for the smallest possible tooth thickness allowance (jtw.i = 0):

Tooth thickness allowance (up.)	(mm)	[Asn.e]	-0.103	-0.119
(lower)	(mm)	[Asn.i]	-0.133	-0.159

b) Proposal for the smallest possible center distance allowance (jtw.i = 0):

	(mm)	[Aa.e/i]	0.149/0.119

图 38. 通过软件给出的建议

通过更改齿厚偏差（使齿厚变得更薄）来增加侧隙。 两个齿轮都减少 0.05mm（这样通过增加圆周侧隙了 0.1 来保证其为正值）。在 **"Tolerances"** 标签里，设置两个齿厚偏差为 **“Own input”** 后，每个齿轮增加圆周侧隙 0.05 mm （对两个齿轮的下差和上差都改变）。

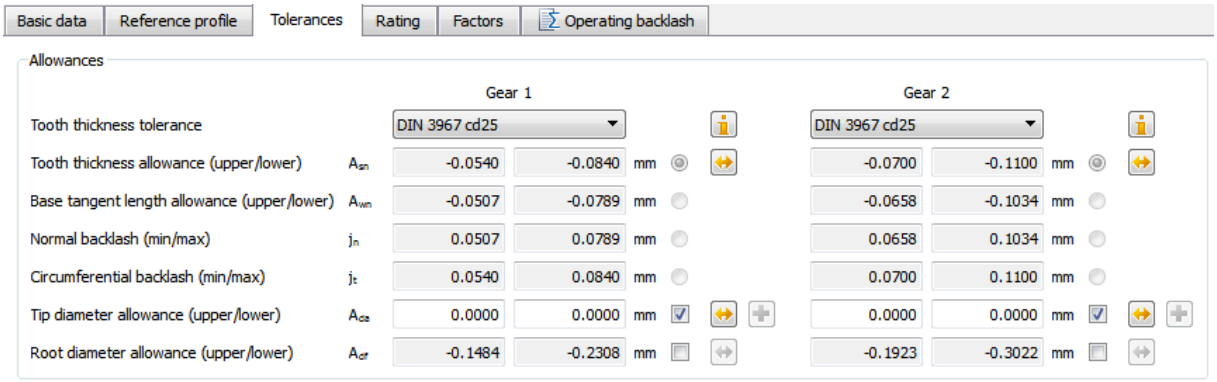


图 39. 原始数据（公差 cd25，由 DIN3967 定义）

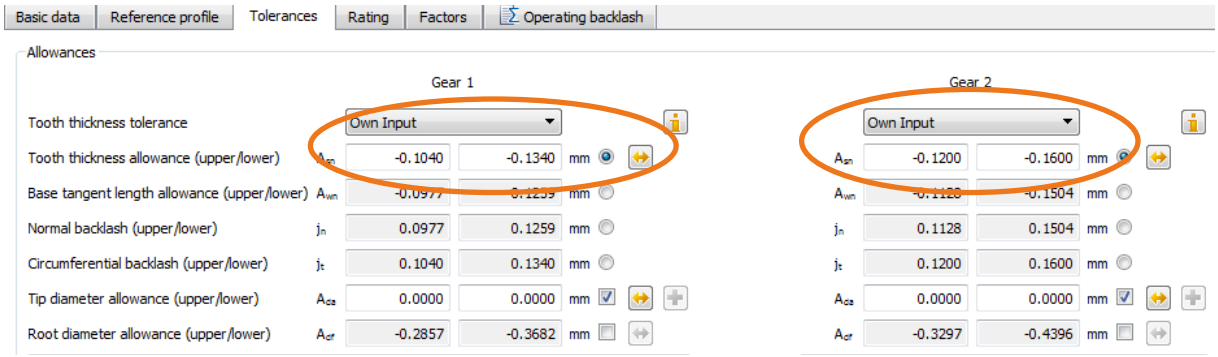


图 40. 对两个齿轮都增加圆周侧隙，每一个 0.05mm

然后，点击  （计算）重新计算啮合图，并按照上面所述重新计算工作侧隙。这次计算不会再出现警告信息（因为齿轮不再咬死），用户也会在报告里面看到一个正的工作侧隙。

Kleinstes Betriebsflankenspiel

- Temperaturkombination				
Radkörpertemperatur		(°C)	[TR]	50.00
Gehäusetemperatur		(°C)	[TC]	50.00
- Verdrehflankenspiel				
	(min.)	(mm)	[jtwop.i]	0.003
	(max.)	(mm)	[jtwop.e]	0.103
- Normalflankenspiel				
	(min.)	(mm)	[jnwop.i]	0.003
	(max.)	(mm)	[jnwop.e]	0.097
- Radialspiel				
	(min.)	(mm)	[jrwop.i]	0.004
	(max.)	(mm)	[jrwop.e]	0.127
- Verdrehwinkel bei festgehaltenem Rad 1				
	(min.)	(°)	[φjt.i]	0.0033
	(max.)	(°)	[φjt.e]	0.1007

图 41. 从报告中截取的工作侧隙的局部，工作侧隙现在为正值

5 计算注塑模模具

5.1 简介

按照上述步骤优化好的理论齿形是 KISSsoft 基于中值齿厚公差计算出来的。这个所需的结果可以通过 DXF 或 IGES 格式传递到 CAD 程序里。这样，用户可以用这个轮廓来查看通过注塑模具加工的齿轮。

用户可以精确的定义注塑模具。 当使用注塑模具工艺加工塑料齿轮时，在塑料凝固以后，就会有一定程度的收缩量。因此，注塑模具就应该设计的稍微大一点来补偿这个收缩量。为了得到这样的效果，齿形应该在径向和切向上都应该放大。径向的放大是通过在径向方向上给定一个适当的比例。（也就是齿的外轮廓上的每一个点直接从中点移动一个线性直线段。）切向方向的膨胀是齿厚的增加同时相应的齿间隙的减少。为了在 KISSsoft 中计算注塑模，用户可以在齿顶和齿根预先定义所需要的径向膨胀量，同时定义一定比例的切向膨胀量。

5.2 修改注塑模具来补偿收缩量

点击 **"Tooth form"** 标签打开齿形计算，加上适当的修形。在标签"automatic (Rack)"上，在已经存在的操作步骤里加上其他的操作步骤。

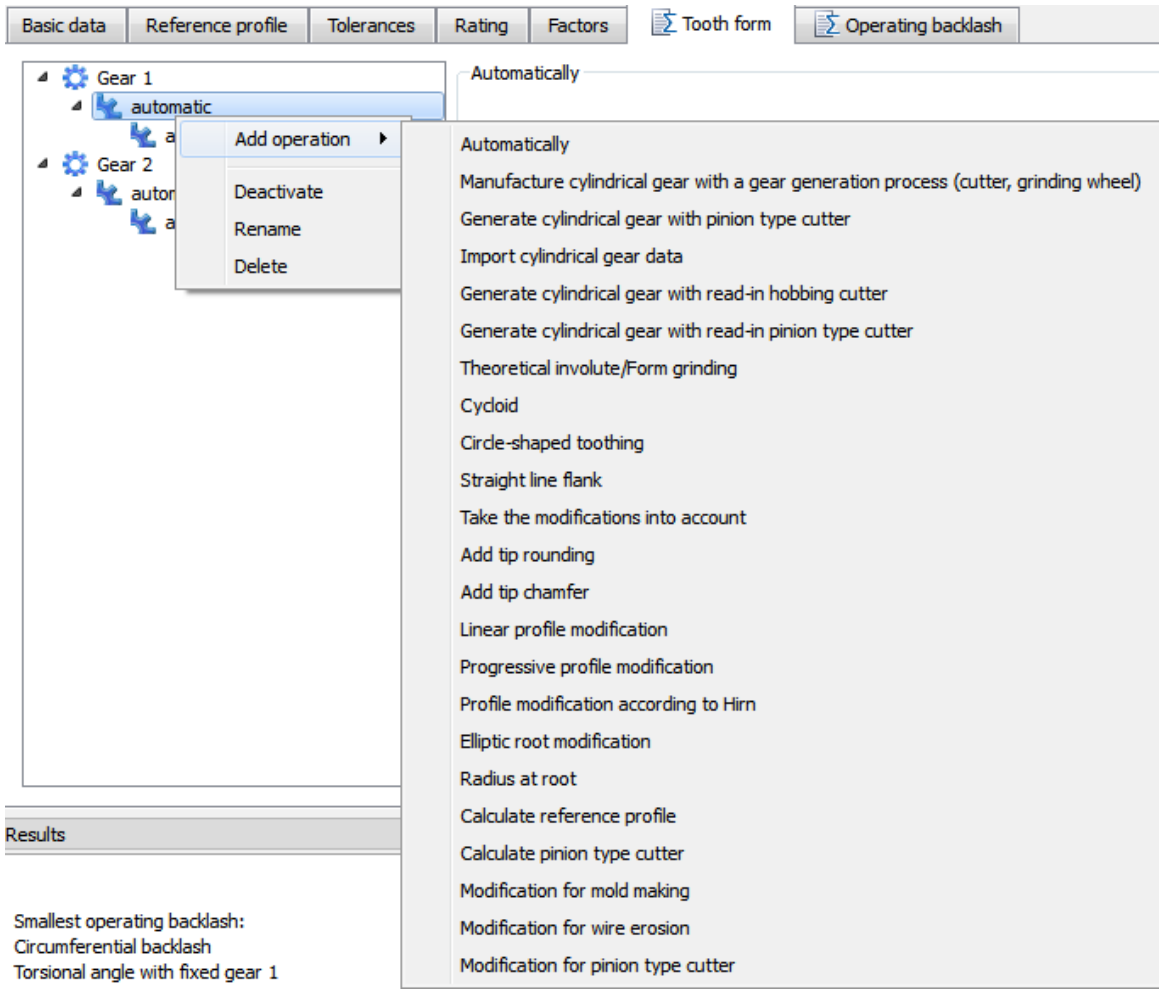


图 42. 对注塑模进行带修形的计算

用户现在可以输入径向和切向的膨胀量。通过点击 Σ 计算，用户就可以输入相应的径向和切向的膨胀量，然后可以通过“2D”来显示。

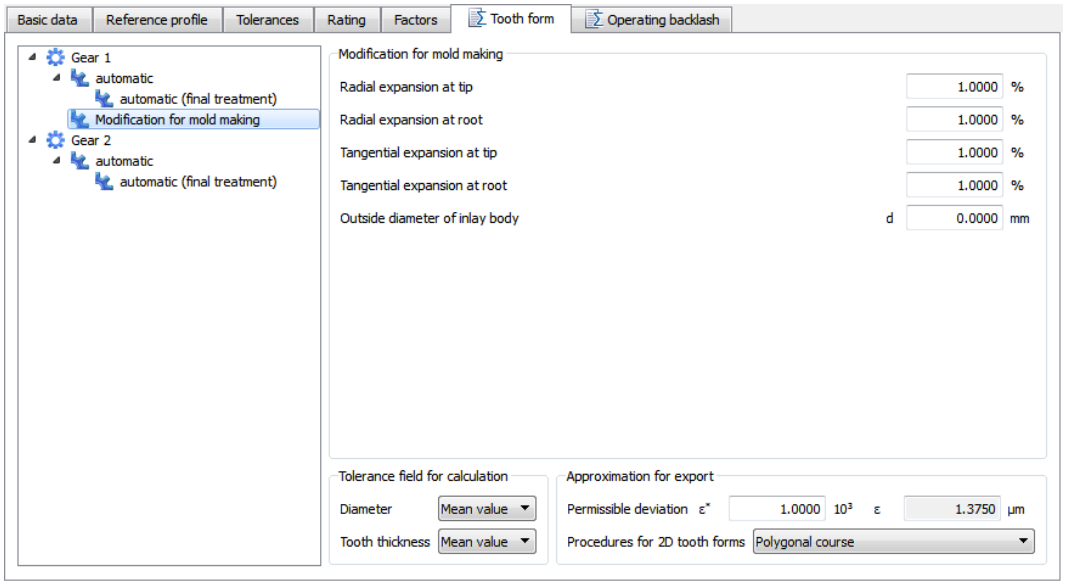
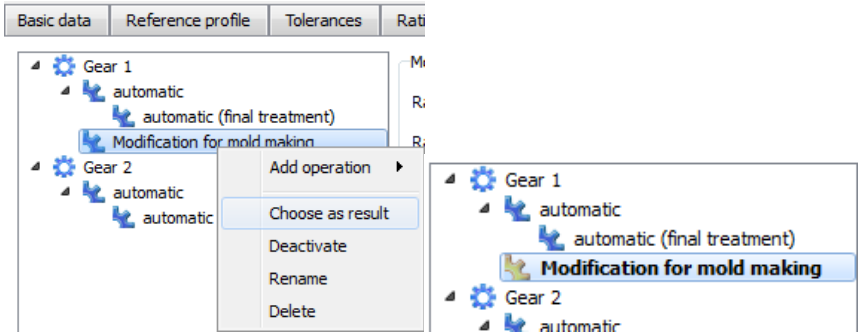


图 43. 调用显示齿轮副

注意：在用户显示修正过的齿形时，必须激活"Modification for mold making" ("Choose as result")。



标签变成黄色，表明此操作步用于显示

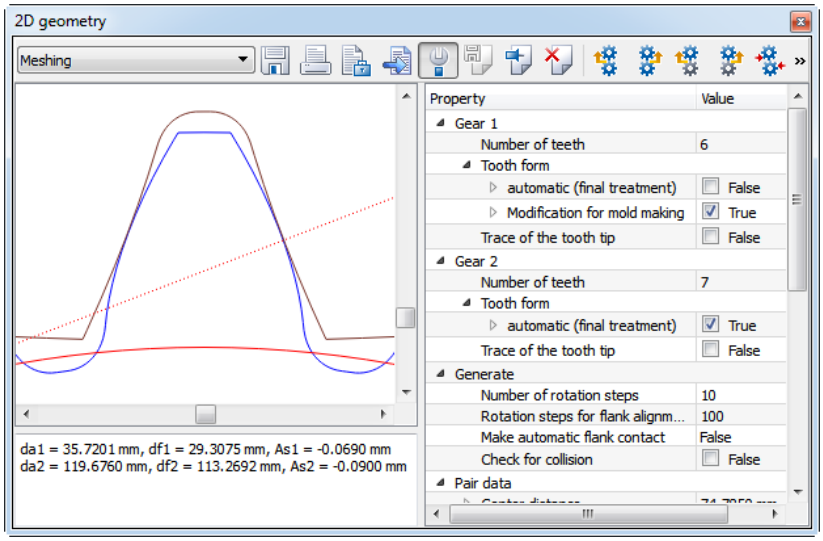


图 44. 齿轮显示，通过预先定义的收缩量来增厚齿轮

如果用户想使用这些齿形来加工模具，最好将它们单独输出在 **"Permissible deviation"** 下面，用户可以输入一个 ε* 值来定义最大的齿形允许的误差，也可以定义其逼近的类型。用户可以打开**"2D geometry"** 中的图形窗口，直接显示在齿轮 1 和齿轮 2 的齿形下方的模具齿形。

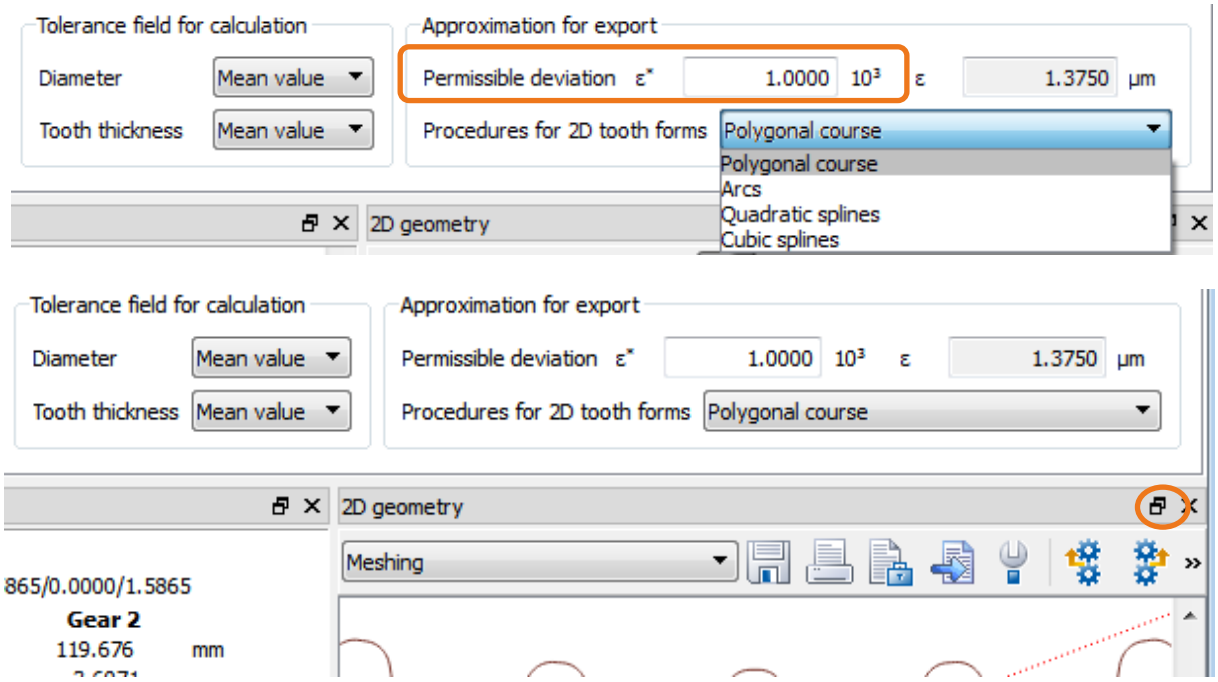


图 45. 允许的最大误差，打开图形窗口

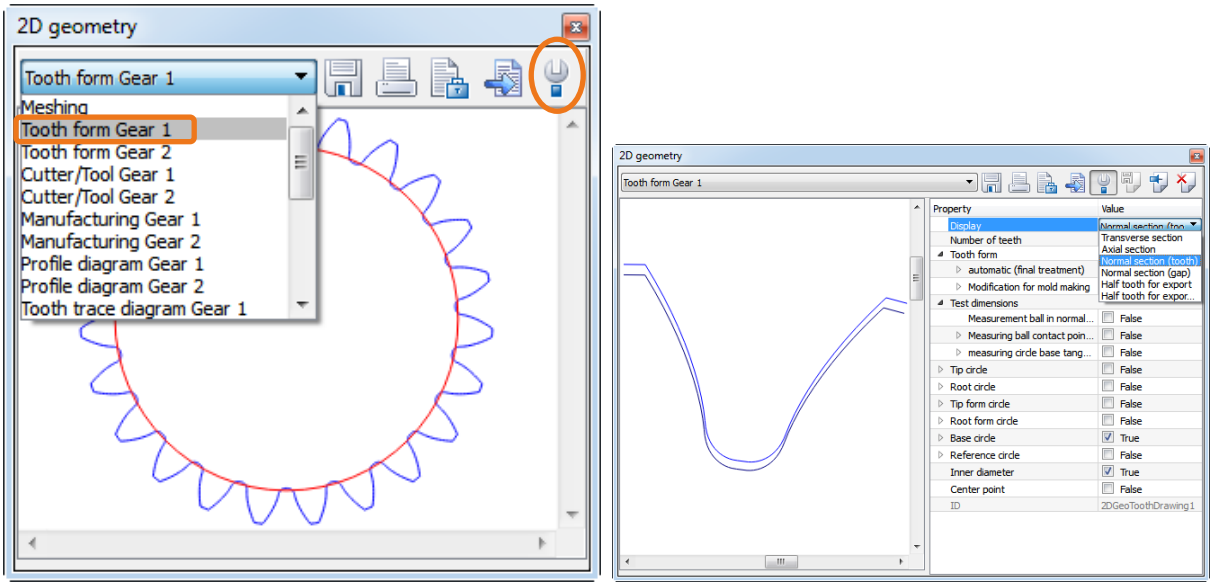


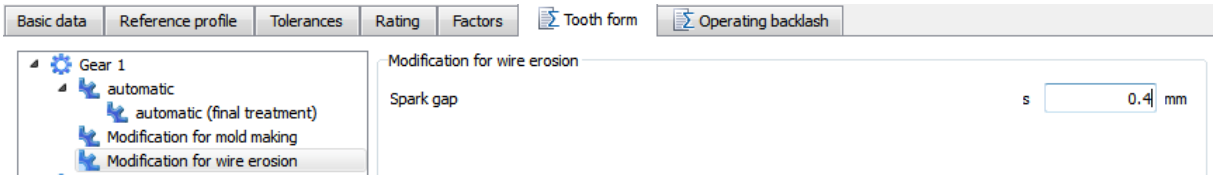
图 46. 调用显示单个齿轮的齿形并以 DXF 或 IGES 格式输出

检查所显示图形的标题是非常重要的：屏幕左边的显示了一系列膨胀后的齿形（模具修形后）。在右手边的图形屏幕里，用户也可以看到以黑色表示的**未修形**的图形。用户可以使用这个过程来显示考虑如 图 43. 定义的收缩率后的膨胀的齿形

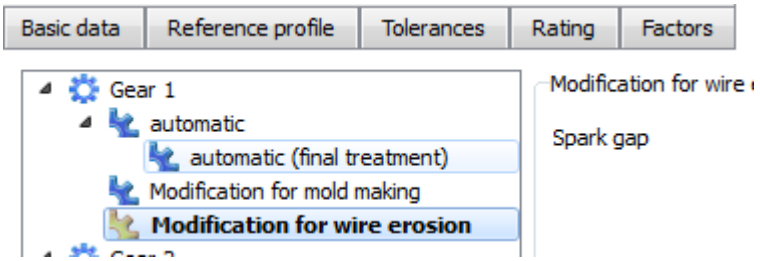
5.3 显示电火花线切割丝径/放电间隙

另外，当用户计算注塑模时，定义好线切割丝径后可以考虑放电间隙。在电火花切割过程中，放电间隙是指在线切割丝和将要形成模具齿形的材料之间的间隙。因此，线切割丝径必须考虑一个放电间隙的缩小量。如果线切割直接成齿形，齿相应的也会变瘦。用户也可以由同样的方法定义（放电间隙加线切割丝半径）模具的走丝路径。

增加 "Modification for wire erosion" 选项来保证放电间隙能够被考虑进去。



注意： 为了显示修形后的齿形，用户需要激活 "Modification for wire erosion" 选项 （"Choose as result"）。



原始齿形：

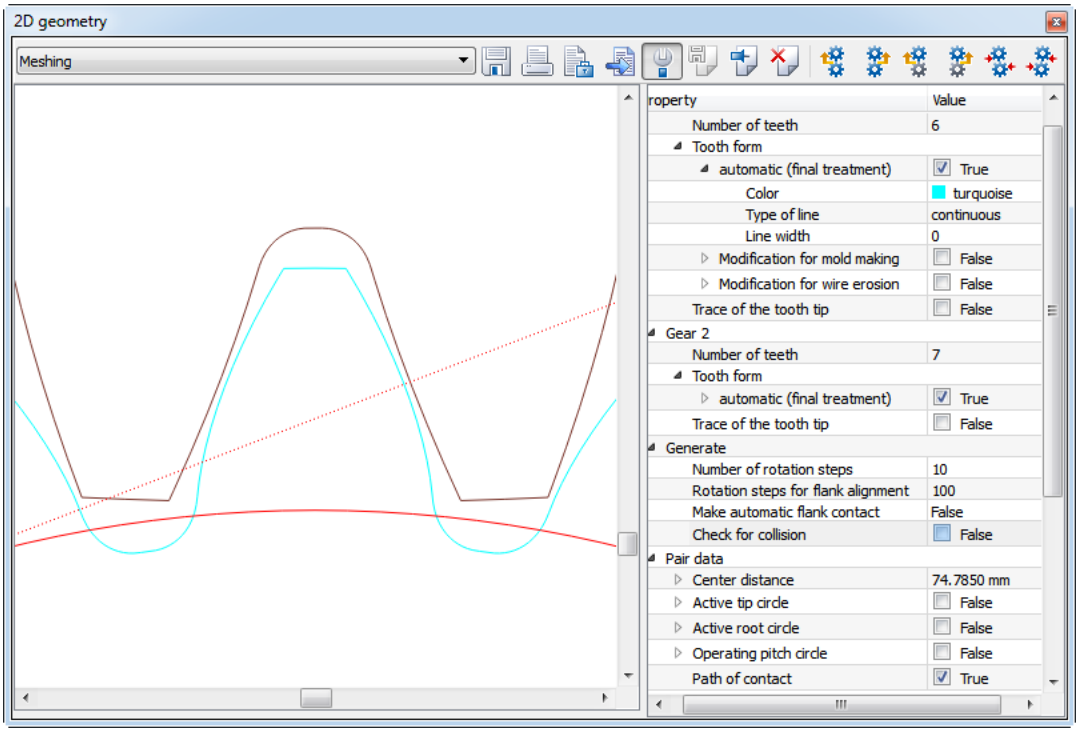
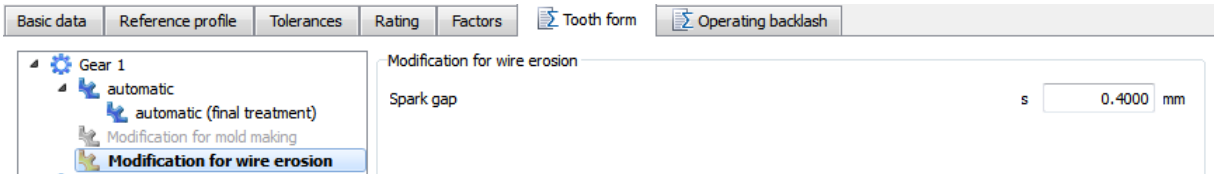


图 47. 没有修形的齿形



如果使用正值来定义放电间隙，则齿形会被放大（来补偿放电间隙）

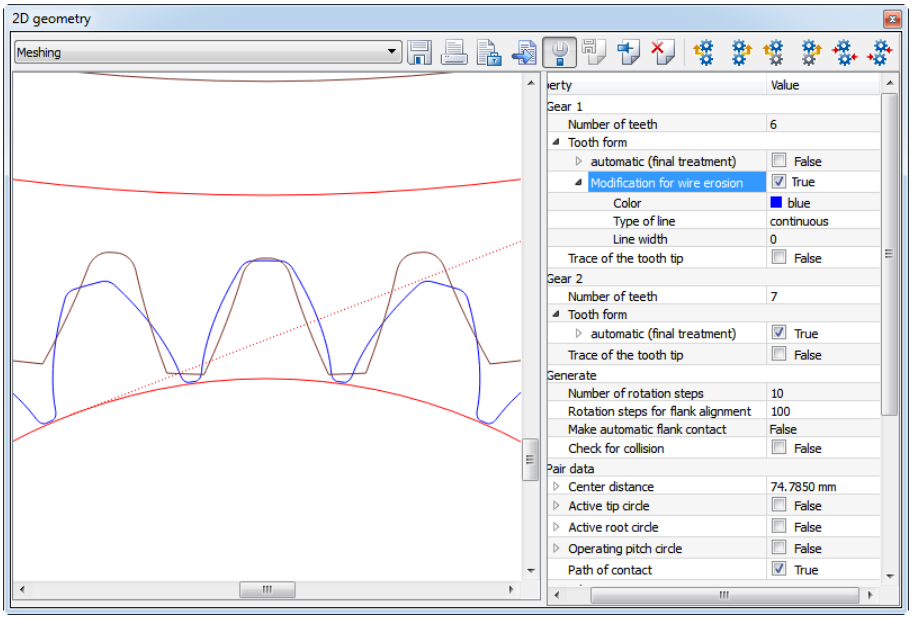
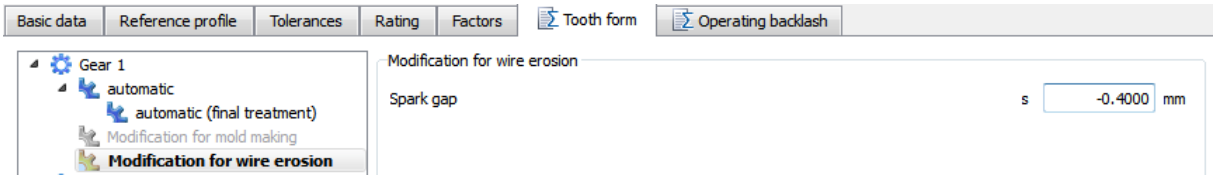


图 48. 使用 0.4mm 的放电间隙的齿形显示



如果使用负的值来定义放电间隙，则显示的齿形好像是线切割丝在显示的模具下方通过。

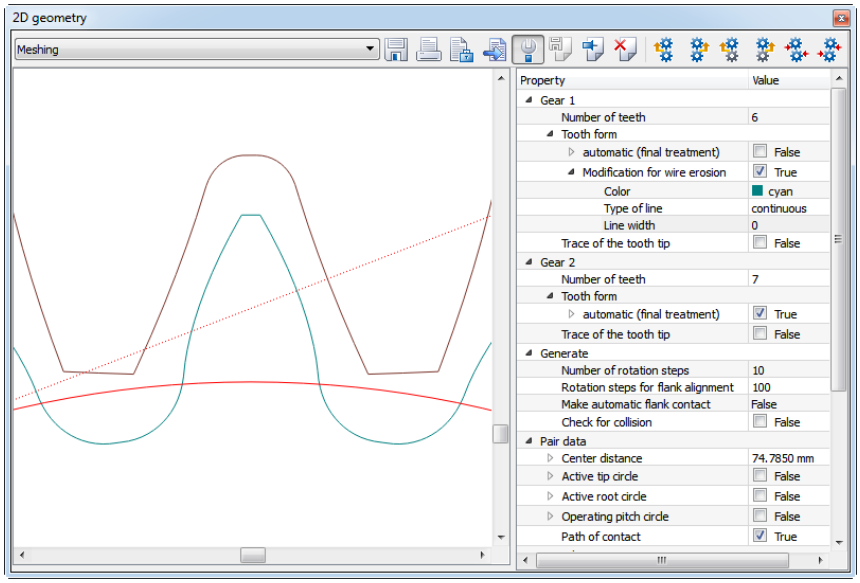


图 49. 使用 -0.4 mm 放电间隙定义的齿形

5.4 在线切割过程中检查线切割丝的直径

如果注塑模是通过线切割加工得到，用户必须检查所使用的线切割丝是否适合此目的。为此，在 **"Tooth form"** 标签里按照如下步骤进行操作。再次导入例子 "CylGearPair 5"。在 **"Tooth form"** 标签里执行下列计算步骤：

加入带负的放电间隙的 **"Modification for wire erosion"**，这个值相应于线切割丝的直径的一半。 然后再次加入 **"Modification for wire erosion"**，但这次使用一个正的一半的线切割丝径。用户需要激活 **"Choose as result"**。在图形窗口，设置所有的计算步骤为 "True"。

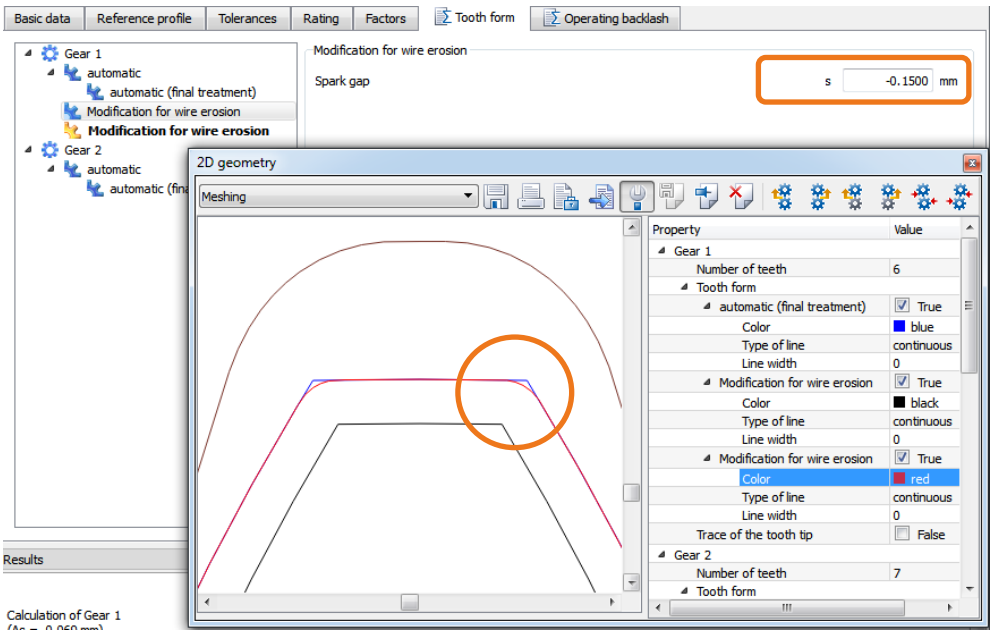


图 50. 输入一半的线切割丝径作为放电间隙

现在，用户可以看到所有的计算步骤下的齿形几何。黑色的显示为线切割丝径中心的走丝轨迹。红色的轮廓为这个过程产生的齿形，蓝色的为目标轮廓。

5.5 计算模具的3D

在 3D graphic 里点击存文件按钮，3D 数据能够使用常用的方法输出（如 2D 输出），这个数据就被保存。用户可以保存为 Parasolid 或者 STEP 格式。

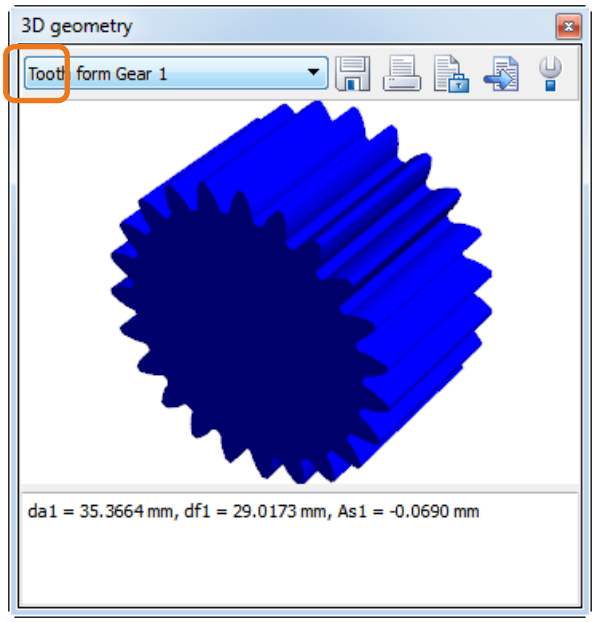


图 51. 几何输出