KISSsoft
Calculation programs for machine design

KISSsoft 03/2017– 教程 9

圆柱齿轮的精细选型

KISSsoft AG
Rosengartenstrasse 4
8608 Bubikon
Switzerland

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

SHARING KNOWLEDGE

目录

1 目标 3
1.1 目标 3
1.2 打开齿轮副计算模块（圆柱齿轮副） 3
2 圆柱齿轮副的粗选型 4
2.1 计算准备 4
2.2 运行粗选型功能 6
2.3 修正 7
3 精细选型 10
3.1 打开精细选型功能 10
3.2 精细选型的结果 13
3.3 深齿制齿形的选型 14
3.4 强度分析的深入内容 17

1 目标

1.1 目标

在本教程中，将会设计一对圆柱齿轮副，工况要求如下：工作寿命 5000 h，功率 5 kw，输入转速 400 rpm（应用系数 1.25）。传动比要求为 1:4（减速），齿轮使用的材料为 18CrNiMo7-6。同时，需要对这对圆柱齿轮副进行优化，以实现最可能的噪声要求/最优的重合度。强度校核使用 ISO 6336 Method B。

1.2 打开齿轮副计算模块（圆柱齿轮副）

在软件安装并激活之后，用户便可以运行程序。通常，用户可以通过点击“Start→Program Files→KISSsoft 03-2016→KISSsoft 03-2016”来打开软件，软件会弹出如下的 KISSsoft 用户界面。

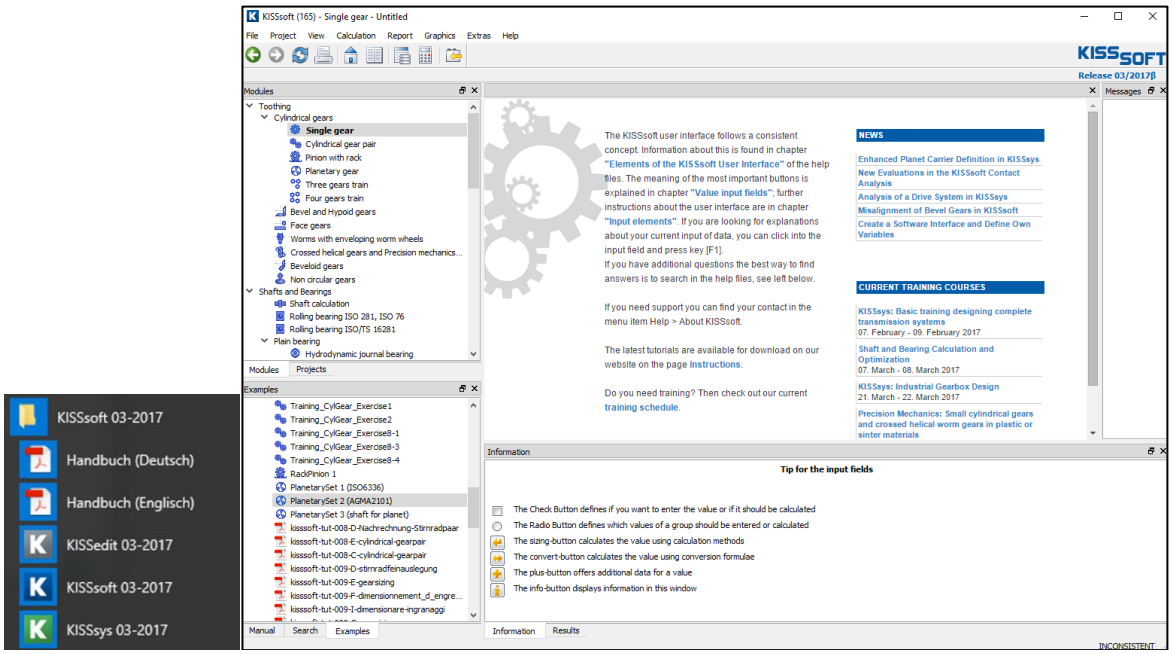


图1. 启动 KISSsoft，初始界面

在“**Modules**”标签下，点击模块树窗口下的“Cylindrical gear pair”计算模块：

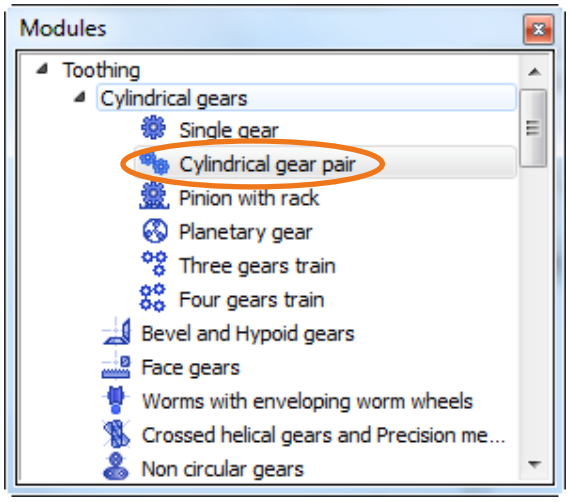


图2. 打开圆柱齿轮副计算模块

用户可以通过点击“File/Open”并选择“Tutorial-009-Step1”（至“Tutorial-009-Step5”）来打开本教程所用的案例，或者在“**Examples**”标签下选择它。本教程中，用户可以按照下面图中所示打开需要的文件：

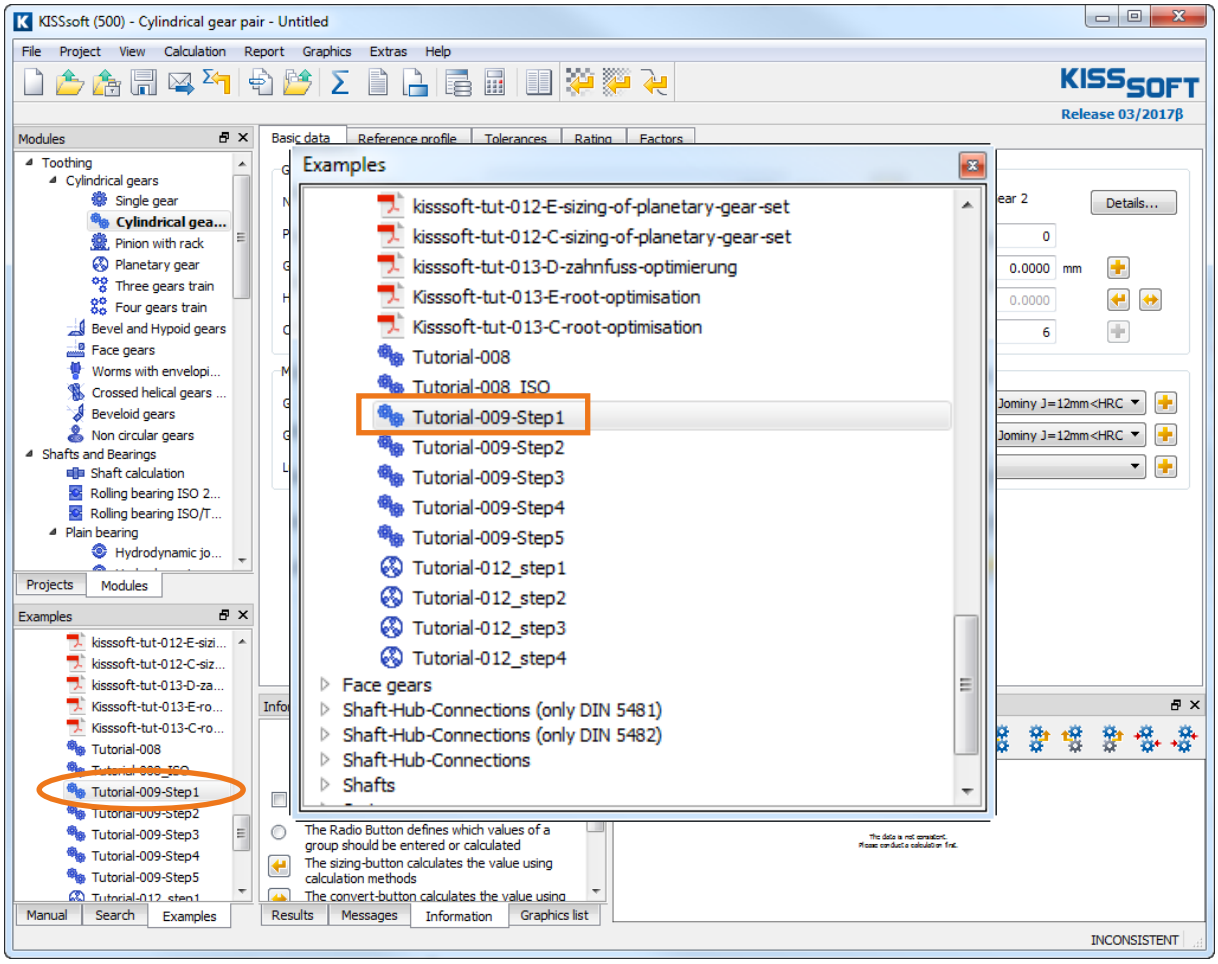


图3.　在本教程的不同步骤中，打开案例文件的选项

2　圆柱齿轮副的粗选型

2.1　计算准备

在进行粗选型之前，用户必须在 Basic data 标签和 Rating 标签下输入基本的啮合参数。在 Basic data 标签下，在 Material and lubrication（材料和润滑）部分输入材料 18CrNiMo7-6。

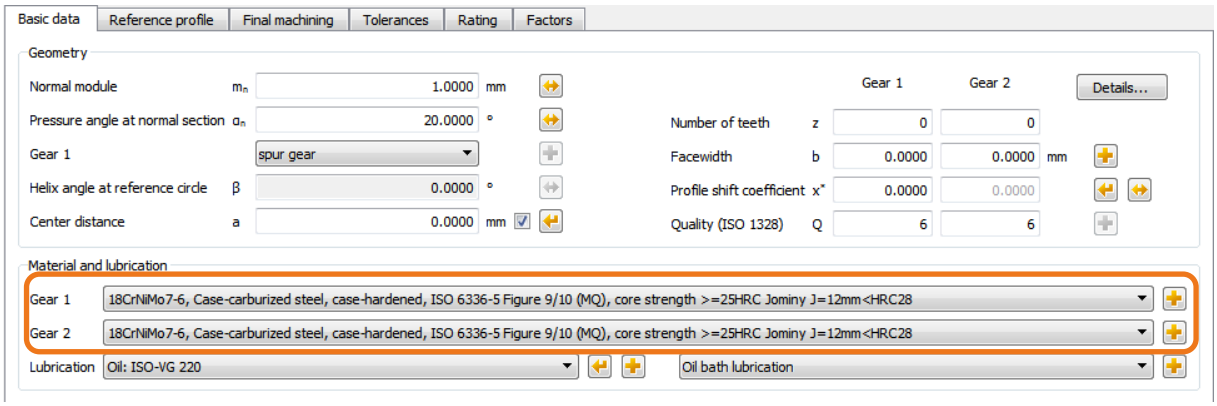


图4.　基本参数标签下的材料部分

需要实现的安全系数，可以在 module specific settings（模块的特别设置）窗口中，“Required safeties”标签下进行定义。

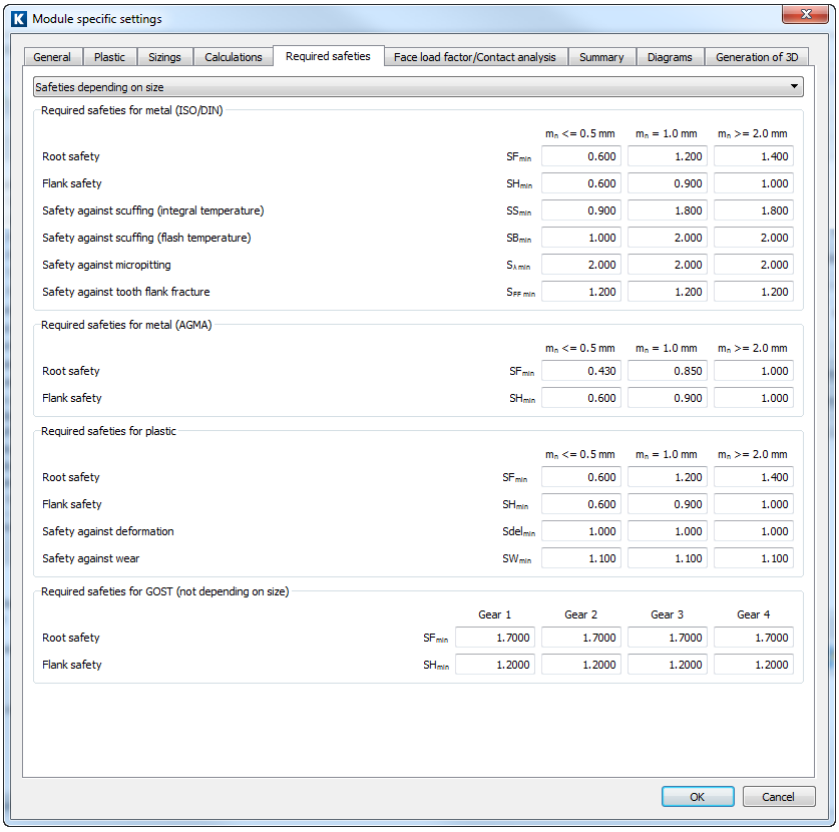
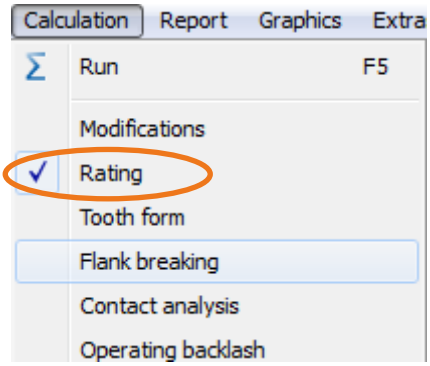
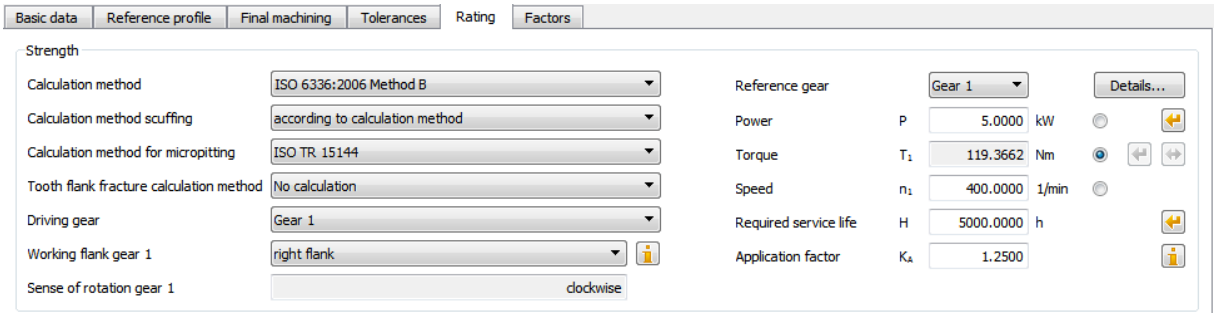


图5.　模块的特殊设置 – 定义需要的最小安全系数

随后，点击“**Calculation**”→“**Rating**”打开校核标签，用户需要在这里输入工作寿命、功率、输入转速，以及应用系数，同时还要选择强度校核使用的计算标准。





用户如果需要直接进入这一步计算，可以打开文件“Tutorial-009-Step1”

图6.　Rating 标签下的啮合参数

2.2 运行粗选型功能

使用粗选型功能，可以为齿轮传动生成一个可用的初步数据。为此，用户可以通过点击“**Calculation**”→“**Rough sizing**”打开粗选型功能，在粗选型界面中输入需要的主要数据。

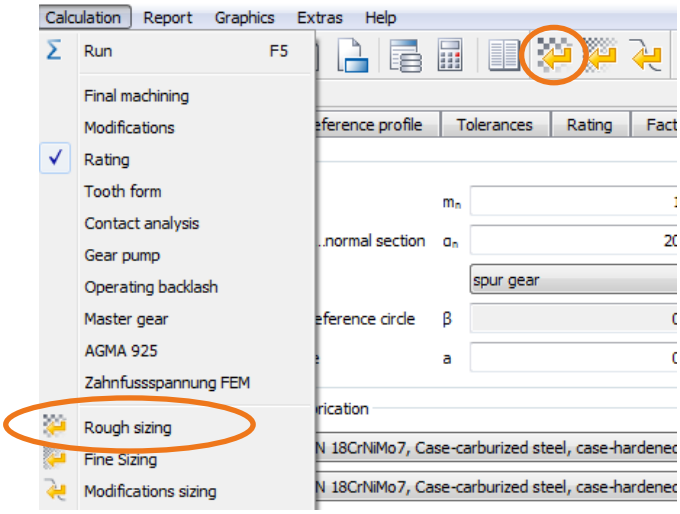


图7. 打开粗选型功能

这一步最重要的，是定义需要的传动比（包括允许的变化范围，使用百分比的方式---本案例中是 5%）。用户也可以预定义需要的螺旋角或者中心距。螺旋角取决于轴上使用的轴承类型。根据轴承可以支撑的轴向力的大小，需要的螺旋角可能会变大或者变小。在稍后的精细选型中，用户也可以优化螺旋角。在粗选型中，用户只需要输入一个近似值，或者输入 0，得到一对直齿轮。“**Rough sizing**”输入窗口的下半部分，用户可以输入一些其他参数，例如主动轮的齿数范围，相关的几何比例，以及中心距。

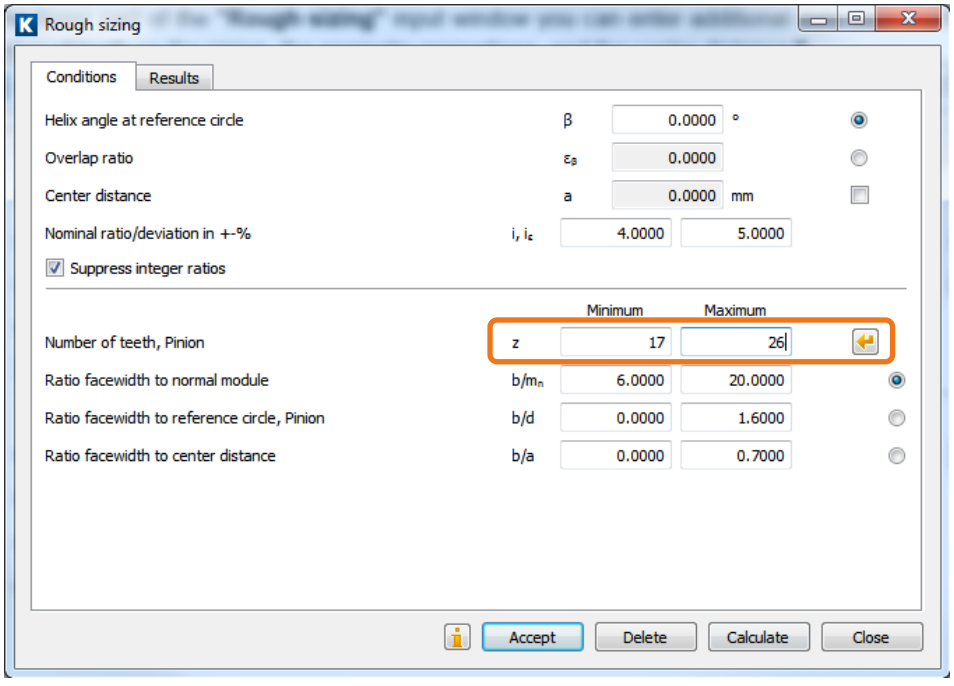
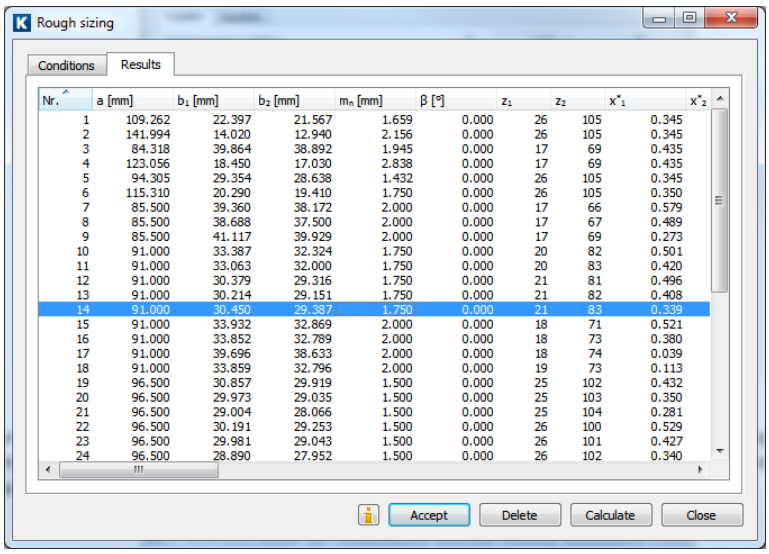


图8. 粗选型输入窗口 – 定义齿轮 1 和齿轮 2 的齿数

当点击粗选型中的 Calculate 计算按钮之后，KISSsoft 软件会计算出很多不同的方案，得到符合定义的条件的齿轮副参数。这些方案会显示在如下的列表中：



在结果列表中右键点击，选择想要使用的判据，例如中心距 a，齿宽 b 等。

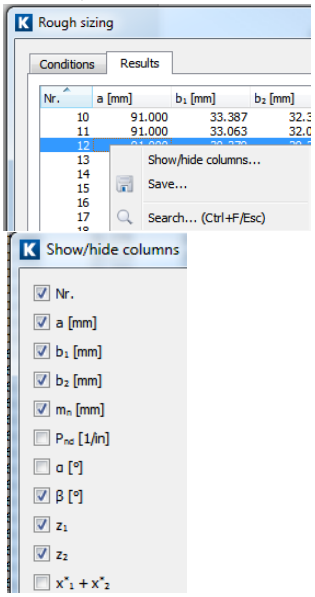
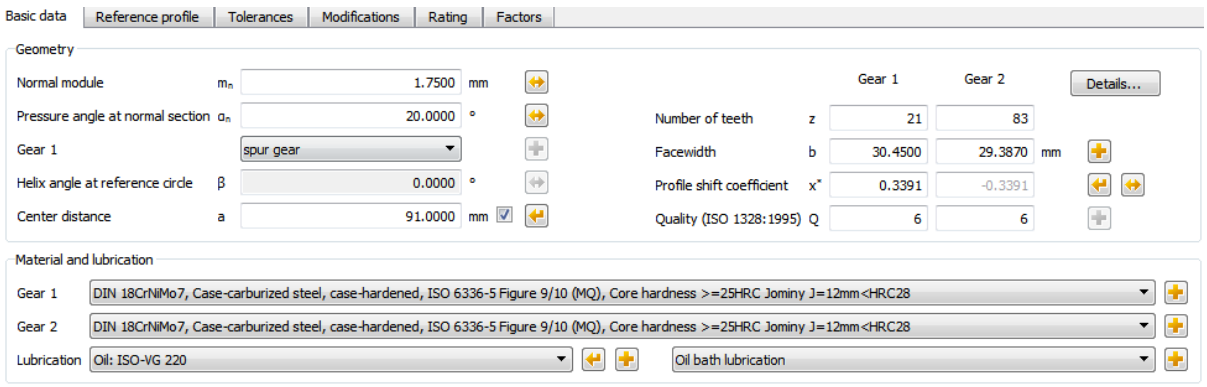


图9. 圆柱齿轮 – 粗选型，结果

想要选择一个特定的方案（在本案例中，要求中心距 91 mm），用户需要在列表中选择，然后点击“**Accept**”按钮，将参数转移到主界面中， 随后点击“**Close**”，关闭窗口。



用户如果需要直接进入这一步，打开文件“Tutorial-009-Step2”

图10. 法向模数、齿数、齿宽、变位系数、中心距，按照软件推荐的方案显示

2.3 修正

用户现在可以修正推荐的参数。例如，用户可以输入主动轮的齿宽 30 mm，被动轮齿宽 29 mm（直接在相应的输入框中输入）。

在“**Reference profile**（基准齿廓）”标签下，用户可以在下拉列表中修改基准齿廓。

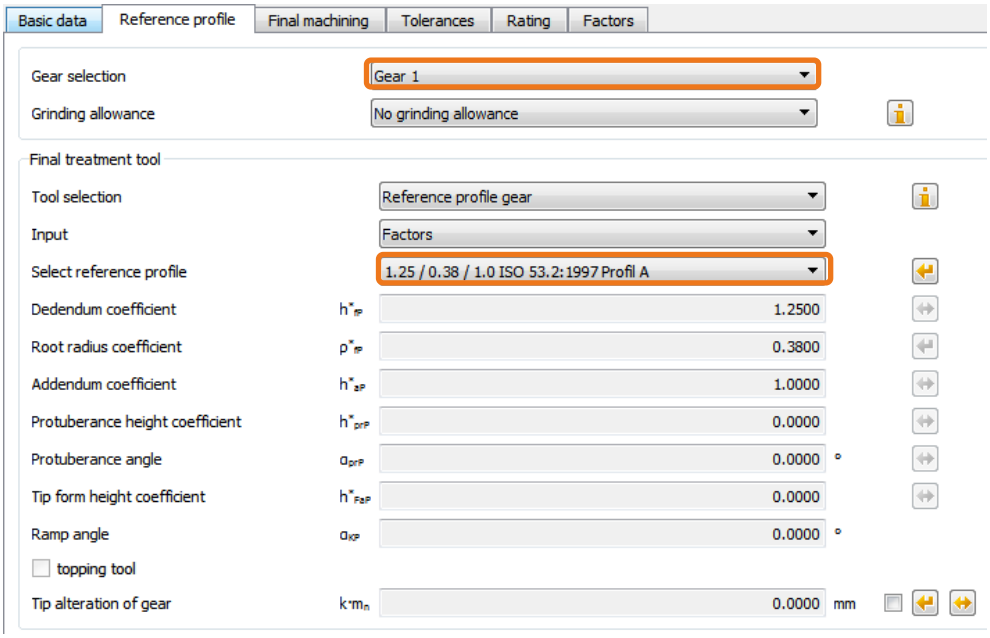


图11. “Reference profile（基准齿廓）”标签下，基准齿廓信息

用户可以按照以下流程，修改齿轮 1 的变位系数（齿轮 2 的变位系数会由软件自动计算出来）：按下图所示点击推荐选型按钮 ，打开“**Sizing of profile shift coefficient**（变位系数的推荐）”窗口，窗口中显示了一些推荐的变位系数值（如图 13）。

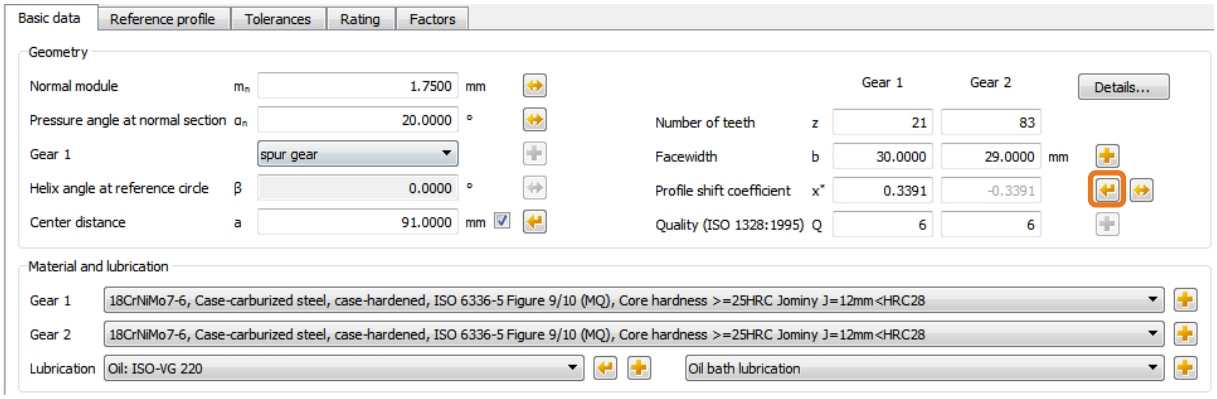
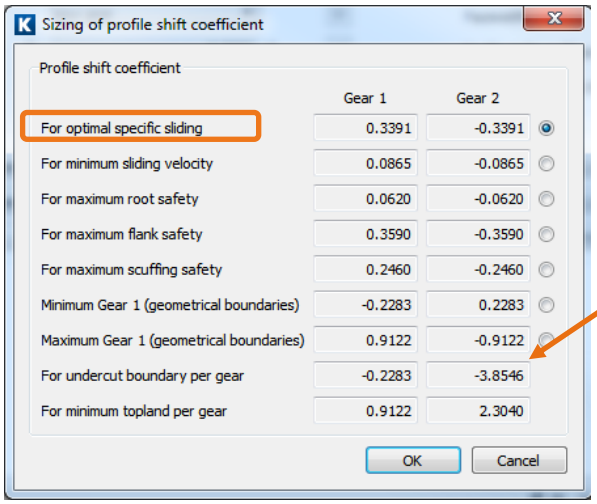


图12. 打开对话窗口，选择推荐的变位系数

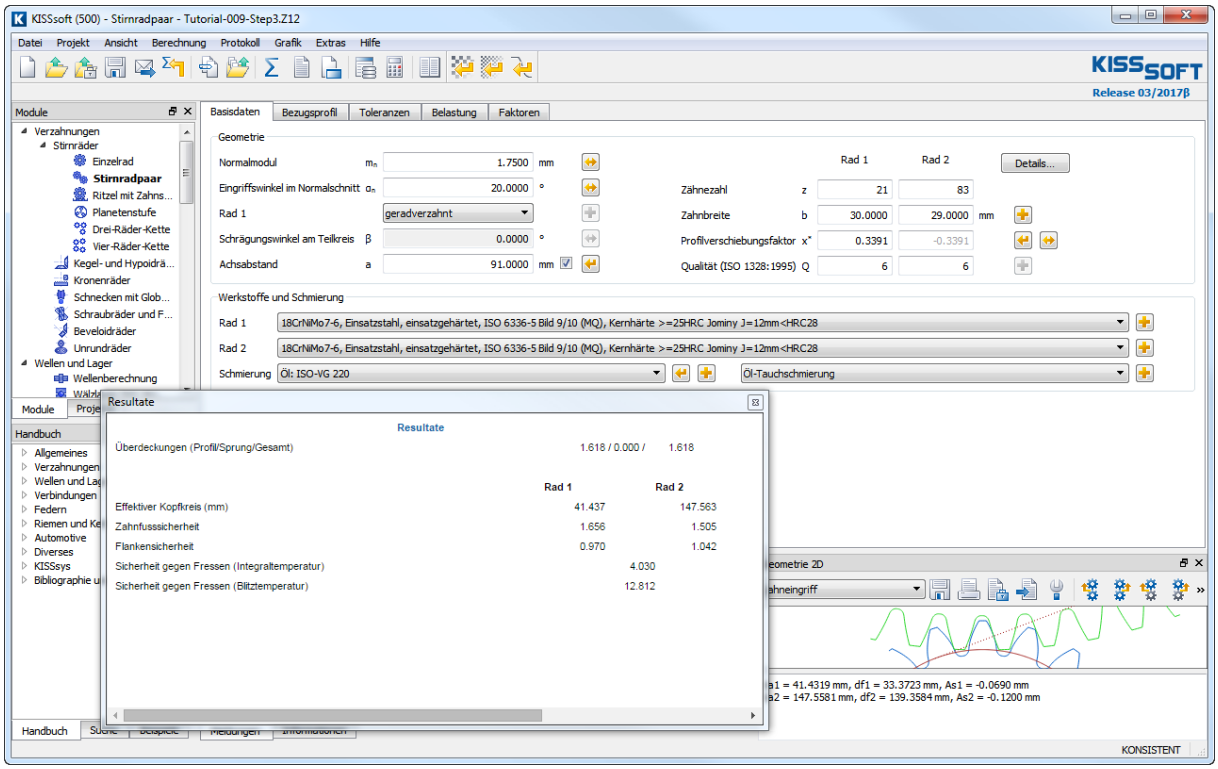


- 推荐变位系数的不同标准
- 变位系数的合理推荐
- 最大和最小值（不根切的最小齿顶圆）

图13. 对话窗口，选择推荐的变位系数

使用不同的判据，KISSsoft 软件都会推荐合适的变位系数。在本案例中，用户可以选择平衡的滑动率。点击右手边的单选按钮，选择需要目标，然后点击“OK”接受。

选择的变位系数 x 随后便会转移到“**Basic data**”标签下，“Geometry”部分的输入框中。此时，用户便可以点击工具栏中的  图标，或者点击“F5”来计算完整的几何参数，以及齿根和齿面的安全系数、抗胶合安全系数，以及重合度（如图 14）。本案例得到的结果应该和图中所示一致（同时请注意，一些微小的不同是可能存在的，例如计算得到的变位系数）：



用户如果想直接进入这一步，打开文件“Tutorial-009-Step3”

图14. 按照修正后的安全系数，计算的结果

3 精细选型

3.1 打开精细选型功能

由于用户已经使用粗选型功能定义了一对可以传递需要的功率的齿轮副，此时便可以优化这对齿轮副的噪音和强度特性。和打开粗选型功能一样，用户可以在“**Calculation**”菜单中，选择“**Fine Sizing**”功能，打开一个“**Fine Sizing**”窗口，用户可在这里执行精细选型功能。

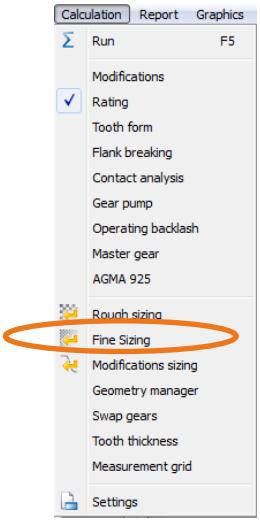


图15. 打开精细选型功能

在这个界面中，用户可以定义以下参数的范围（以及步长）。KISSsoft 软件将会在这个范围内寻找一个合适的齿轮副解决方案。

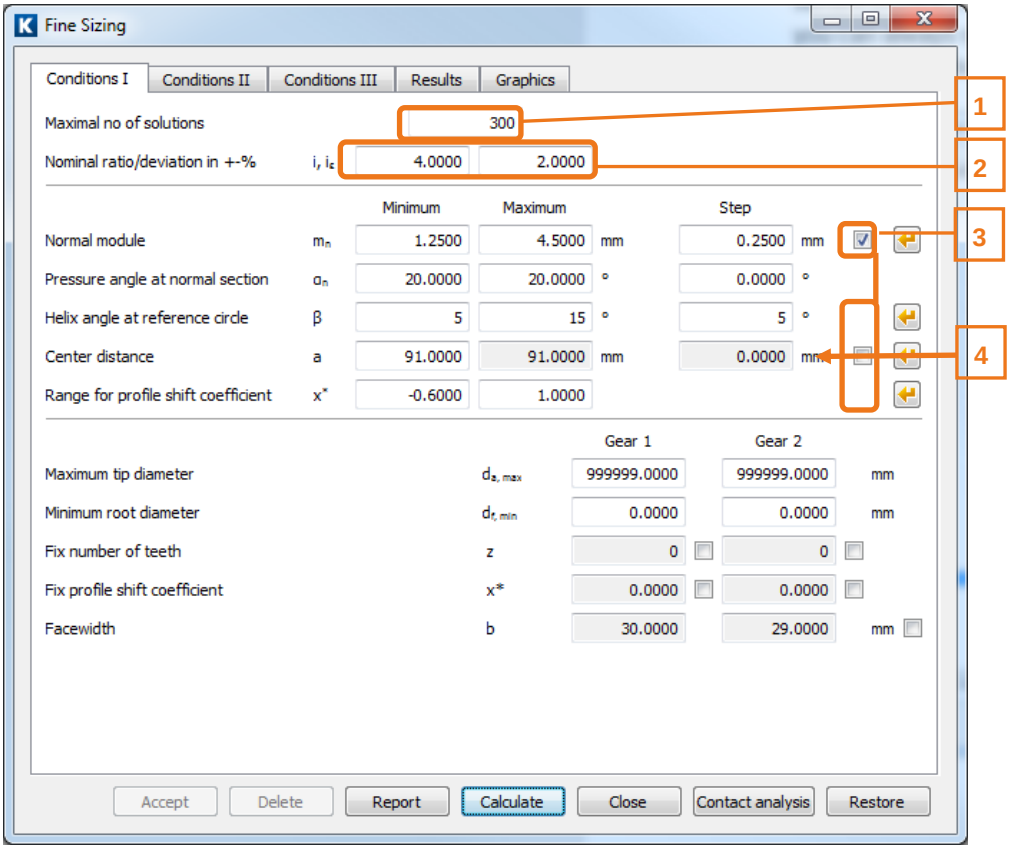


图16. 输入窗口 – 精细选型，输入参数范围

(1) 设置为 300
(2) 定义需要的传动比（4），以及允许的变动范围（2%）
(3) 点击推荐选型按钮 ，命令 KISSsoft 推荐合理的参数范围，包括“**Normal module法向模数**”、“**Helix angle螺旋角**”、“**Center distance中心距**”以及“**Range for profile shift coefficient变位系数范围**”。
(4) 定义中心距是否固定

- 法向模数范围（1.25 ---4.5）
- 螺旋角范围（5°---15°）
- 中心距范围（此处选择变化的中心距）
  （请注意，这一数值会在粗选型中作为结果输出）

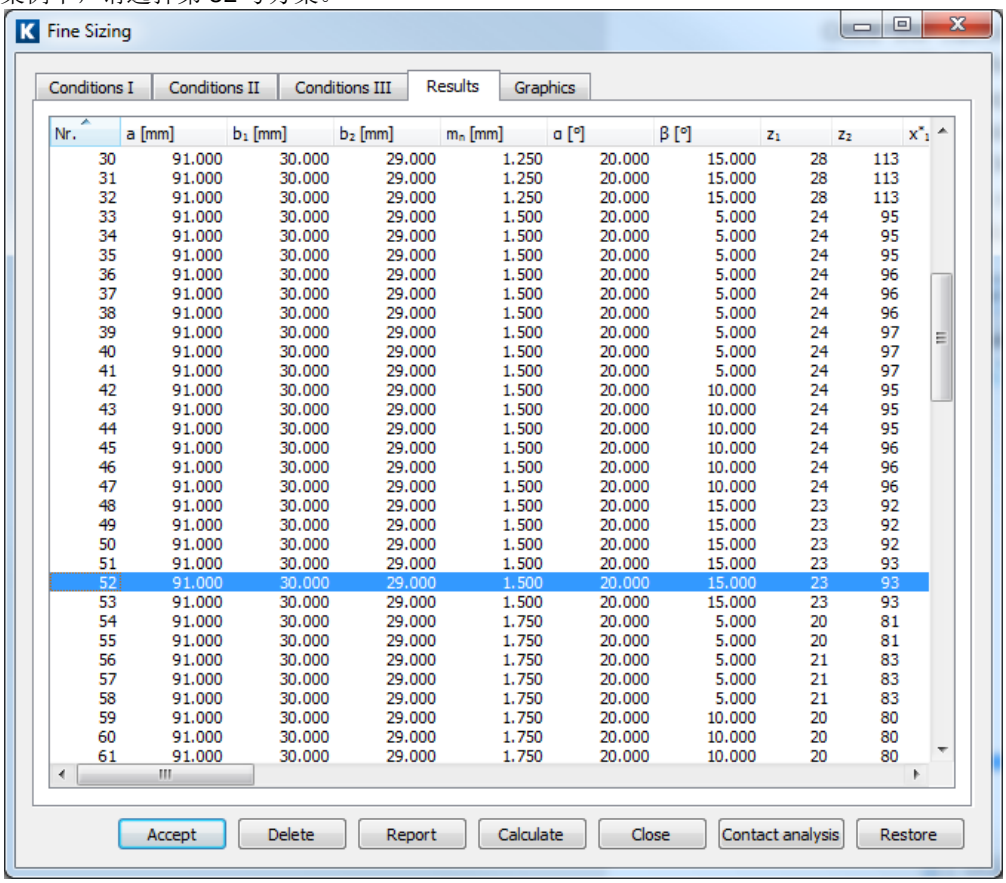
用户也可以预定义以下参数：

- 齿顶圆直径上限
- 最小的有效齿根圆直径
- 可以固定一个或者两个齿轮的齿数（勾选相应齿轮的复选框，如果输入 0，则代表齿数可以变化）
- 定义一个或者两个齿轮的变位系数（勾选相应齿轮的复选框）

在本案例中，设置如图 16。然后点击“**Calculate**”（底部按钮），运行选型计算功能。程序便会找到所有可能的齿轮组合，和输入的参数相匹配。

计算完成之后，系统找到的所有的解决方案都会列出来（如图 17）。在本案例中，目标是找到一对低噪音的齿轮副。用户可以根据自己需要的判据把结果进行排序（例如 ε_α， ε_β，或者 ε_γ），找到最好的方案（根据选择的判据 ε_α 和 ε_β，或者 ε_γ，如果可能选择整数）。双击选择的变量，或者点击“Accept”，将所有参数转移到主界面中并计算结果。如果得到的结果并不是最完美的方案，用户可以选择一个不同的变量作为判据，直到得到最好的结果。

在本案例中，请选择第 52 号方案。



Nr.	a [mm]	b_1 [mm]	b_2 [mm]	m_n [mm]	α [°]	β [°]	z_1	z_2	x^*_1
30	91.000	30.000	29.000	1.250	20.000	15.000	28	113	
31	91.000	30.000	29.000	1.250	20.000	15.000	28	113	
32	91.000	30.000	29.000	1.250	20.000	15.000	28	113	
33	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	5.000	24	95	
34	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	5.000	24	95	
35	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	5.000	24	95	
36	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	5.000	24	96	
37	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	5.000	24	96	
38	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	5.000	24	96	
39	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	5.000	24	97	
40	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	5.000	24	97	
41	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	5.000	24	97	
42	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	10.000	24	95	
43	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	10.000	24	95	
44	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	10.000	24	95	
45	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	10.000	24	96	
46	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	10.000	24	96	
47	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	10.000	24	96	
48	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	15.000	23	92	
49	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	15.000	23	92	
50	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	15.000	23	92	
51	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	15.000	23	93	
52	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	15.000	23	93	
53	91.000	30.000	29.000	1.500	20.000	15.000	23	93	
54	91.000	30.000	29.000	1.750	20.000	5.000	20	81	
55	91.000	30.000	29.000	1.750	20.000	5.000	20	81	
56	91.000	30.000	29.000	1.750	20.000	5.000	21	83	
57	91.000	30.000	29.000	1.750	20.000	5.000	21	83	
58	91.000	30.000	29.000	1.750	20.000	5.000	21	83	
59	91.000	30.000	29.000	1.750	20.000	10.000	20	80	
60	91.000	30.000	29.000	1.750	20.000	10.000	20	80	
61	91.000	30.000	29.000	1.750	20.000	10.000	20	80	

图17. 在指定参数范围内找到的方案列表

点击“**Report**”按钮，会生成一个报告，用户可在此评估这一方案最重要的特性。

Analysis of the results (Assessment of important characteristics)

Comment:
No. = Number of the variant
diff_i = Deviation from the nominal ratio in %
kg = Weight in kg
Slide = Specific sliding (maximum value)
v.Slide = Sliding velocity (m/s, maximum value)
AC/AE = Begin working depth AC / working depth AE
(Friction)
del_cg = Variant on the stiffness during rolling (N/mm/mym)
1-eta = Losses in % (1.0-total efficiency)
Safety = Safety (Tooth root and flank, 0 = high, 1 = medium, 2 = low)
(SF-min: 0.60/ 1.20/ 1.40 SH-min: 0.60/ 0.90/ 1.00)
Summary = Overall assessment (weighted)
(50.0%:del_cg 20.0%:diff_i 100.0%:kg 35.0%:Slide 0.0%:v.Slide
0.0%:AC/AE 10.0%:1-eta 100.0%:Safety)

(For this table it can be said in general: the smaller the value the better!)

No.	diff_i	kg	Slide	v.Slide	AC/AE	del_cg	1-eta	Safety	Summary
1	-1.724	4.166	0.975	0.160	0.521	0.975	1.091	1.468	0.685
2	-1.724	4.156	0.815	0.160	0.473	1.021	1.080	1.479	0.689
3	-1.724	4.147	0.675	0.173	0.425	1.026	1.103	1.488	0.692
…									
50	0.000	4.192	0.747	0.196	0.418	0.265	1.268	1.183	0.550
51	1.087	4.228	1.331	0.184	0.503	0.256	1.352	0.963	0.472
52	1.087	4.216	1.076	0.196	0.457	0.256	1.352	1.096	0.525
…									

Analysis of the results
(with the variant index in decreasing order)

Best variants for accurate ratio: 7 8 9 27 28 29 36 37 38 45 ...
Best solutions for weight: 23 3 19 22 2 18 6 26 21 9 ...
Best variants relative to friction (AC/AE): 136 131 133 125 130 132 128 129 135 95 ...
Best solutions for stiffness: 32 29 31 30 28 27 26 24 25 119 ...
Best variants for strength: 68 65 71 69 66 72 70 67 73 87 ...
Best overallvariants (summary) : 68 69 70 65 66 67 71 72 73 59 ...

图18. 方案评估

重要提示：

在这里每一种选择方法的描述都故意尽可能的简短。在实际中，使用精细选型功能时，用户需要仔细通读“**Analysis of results 结果分析**”列表，这是很重要的一点。由于其他一些原因，很可能应该把第二或者第三好的方案（按照噪音）作为首选。在“**Graphics**”标签下，把所有变量以图表显示出来，也可以帮助用户做出正确的决定。

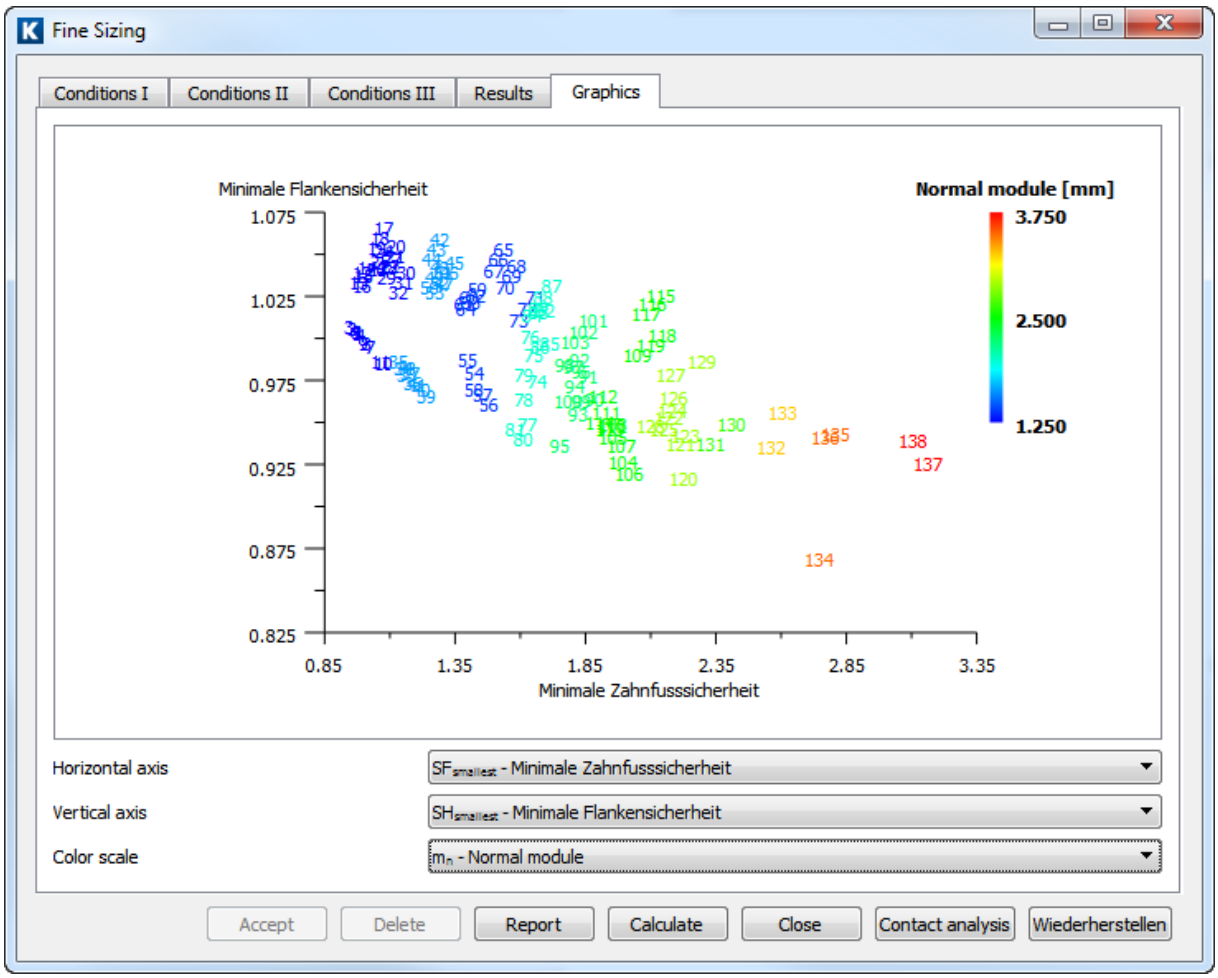
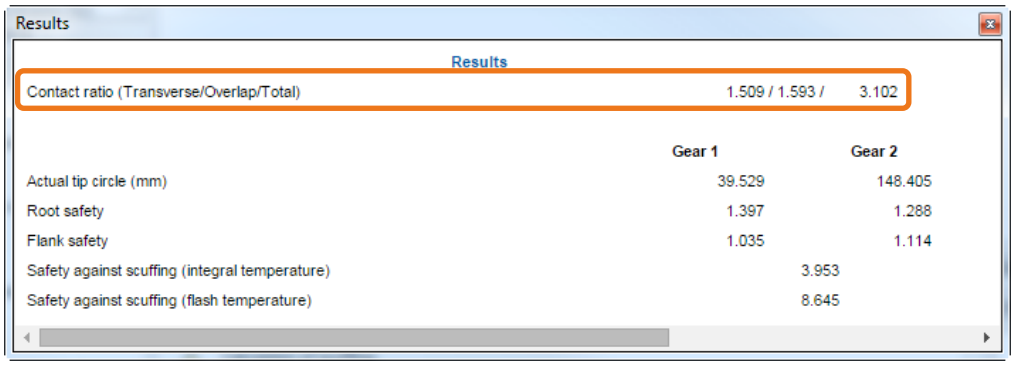


图19. 以图表显示所有的方案

这一图表会帮助用户更容易得找到最好的方案（在这一方案中，根据齿根/齿面安全系数选择）。用户可以在“**Results**”标签下进行选择，并把参数转移到计算主界面中。

3.2 精细选型的结果

此时，总重合度达到了 3.1，也就是说，齿轮啮合过程中的刚度变化会很小（如图 20）。因此，齿轮产生的振动会更小。



用户如果要直接进入这一步，打开文件“Tutorial-009-Step4”

图20. 精细选型的结果（变位系数、螺旋角、齿数）

得到的齿形会在“2D geometry”下面的一个图表窗口中显示出来。此时，用户可以点击 按钮，或者在灰色区域双击左键，使得图表弹出，成为浮动窗口，并且可以进行放大。

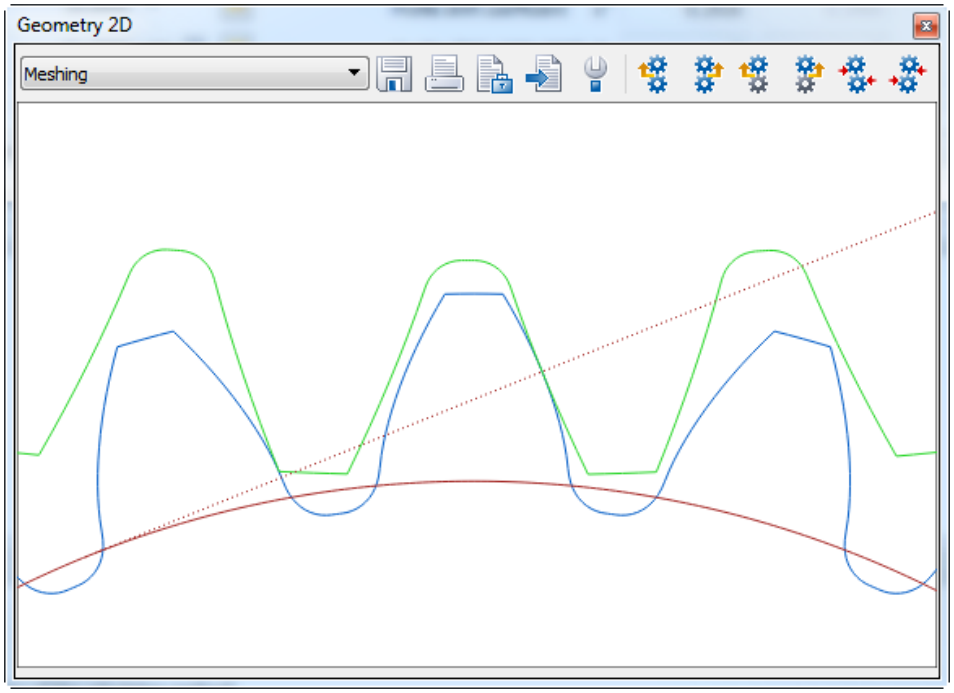


图21. 得到齿形（基圆和啮合线以红色显示）

要显示啮合时的刚度曲线，点击“**Graphics**”→ “**Evaluation**”→“**Theoretical contact stiffness**”：

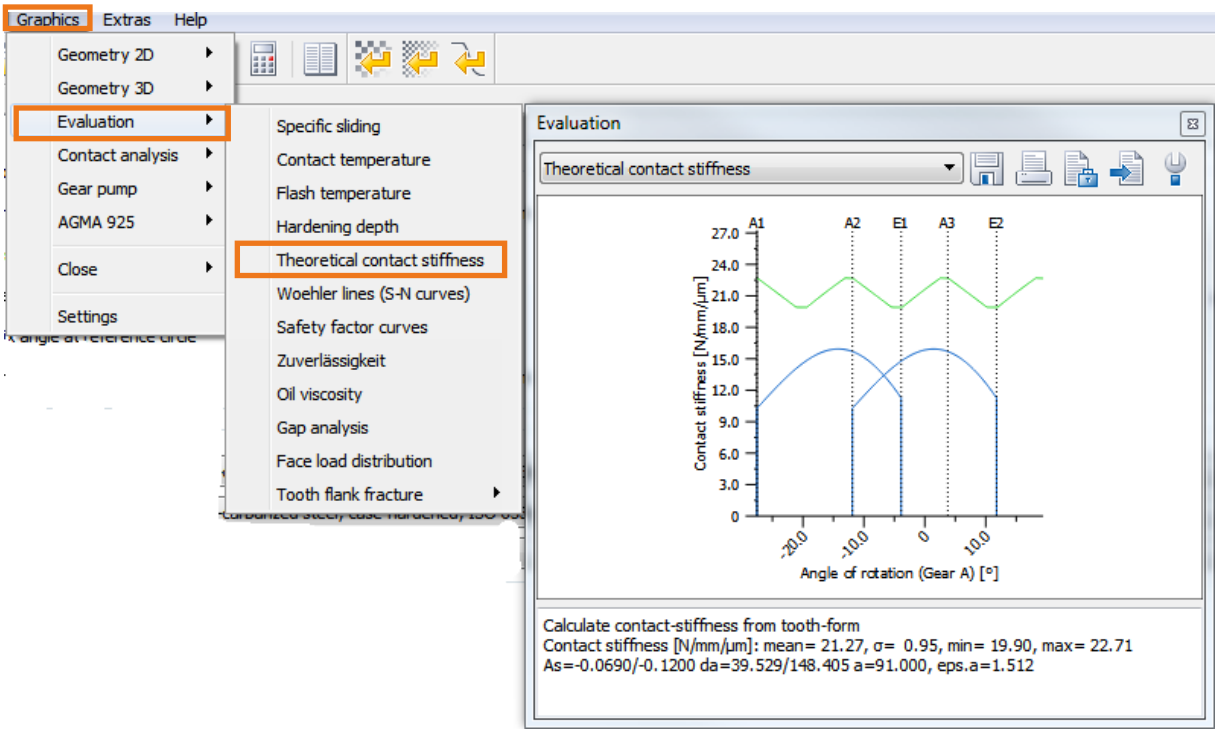


图22. 打开理论啮合刚度图表的过程

3.3 深齿制齿形的选型

在接下来的步骤中，用户可以进一步改善选择的方案。为了达到这个目的，可以将端面重合度ε_α增加到2 。如果用户要增加一个齿顶倒角，便需要更高的重合度，因为重合度会随着齿顶倒角而减小。用户这时需

要通过选型得到一个深齿制齿形，来增加计算得到的重合度（用户可以在“**Module specific setting 模块的特殊设置**”功能中的“**Sizings 选型**”标签下定义目标值）。

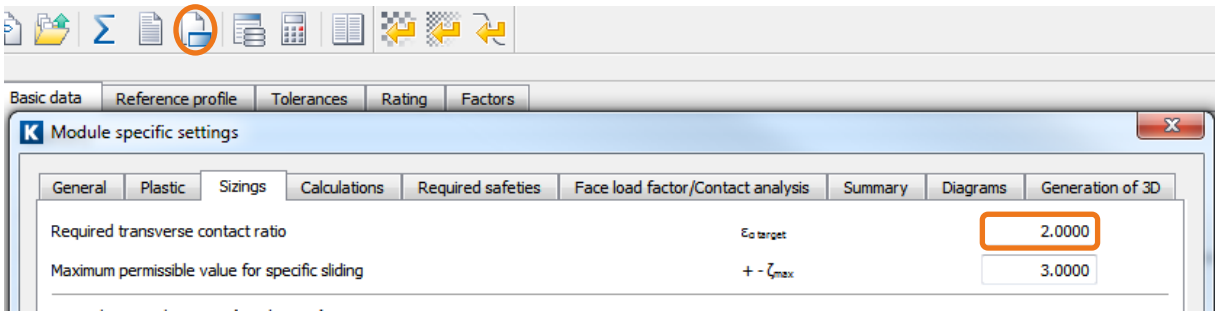


图23. 模块的特殊设置

为了得到一个深齿制齿形，重新打开精细选型功能，在“**Conditions III**”标签下，在深齿制选型的下拉列表进行设置。然后点击计算按钮，计算得到新的参数值。

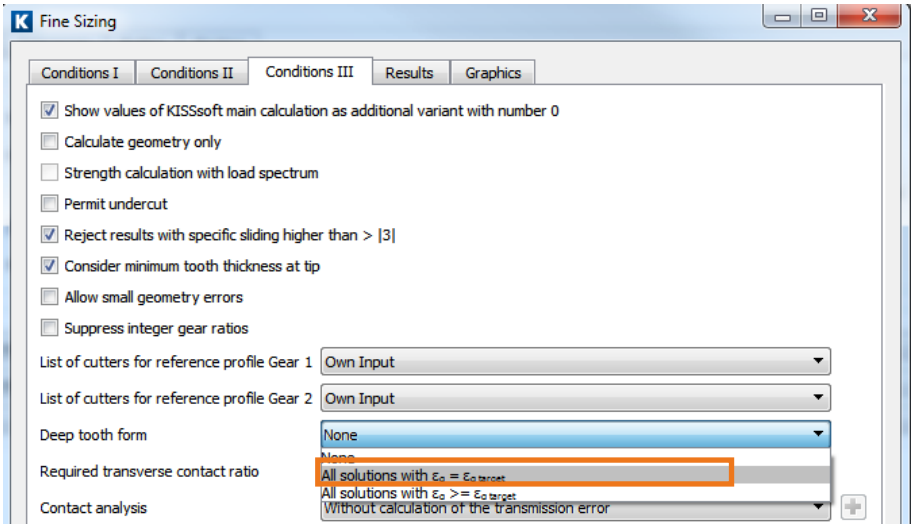
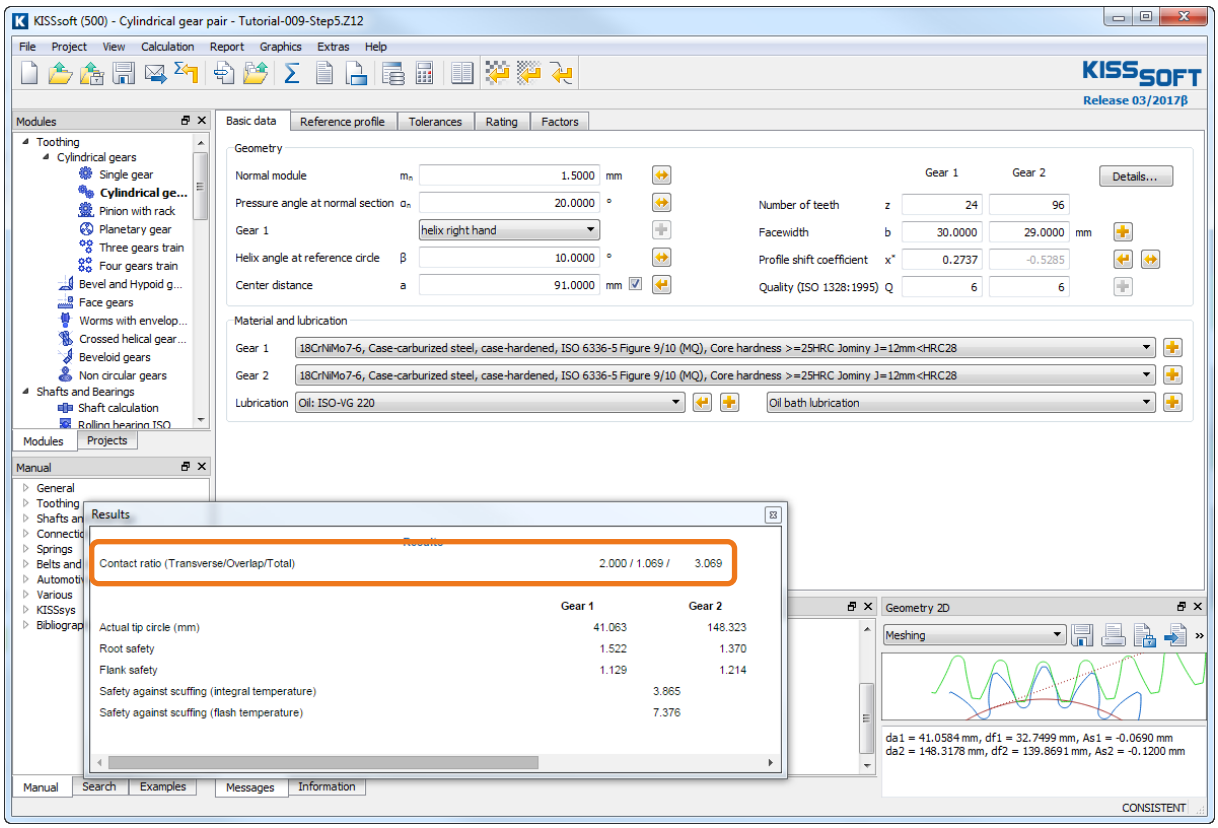


图24. 精细选型中的设置，选择深齿制

按照噪音要求，此时最好的方案是 46 号。选择这一方案，并点击“**Accept**”，将齿形参数转移到主界面中。请注意，当此时为深齿制齿形进行选型时，基准齿廓已经产生了变化。

所有的齿轮参数都会出现在主界面中（修正后的齿数、螺旋角、变位系数），并且在点击接受时，便会进行计算，得到新的结果。



用户如果想直接进入这一步，打开文件“Tutorial-009-Step5”

图25. 指定重合度下的新的齿形参数和结果

计算得到的齿形会在“2D geometry”下的图表窗口中显示。此时，用户可以点击 按钮，或者在灰色区域双击左键，使得图表弹出，成为浮动窗口，并且可以进行放大：

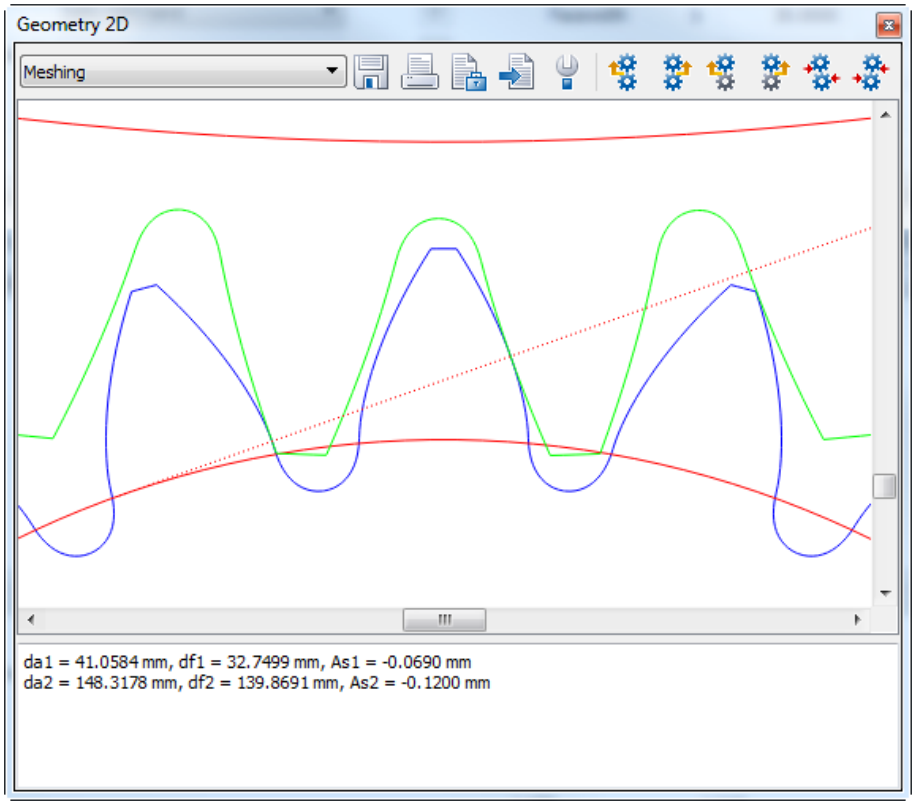


图26.　得到的深齿制齿形

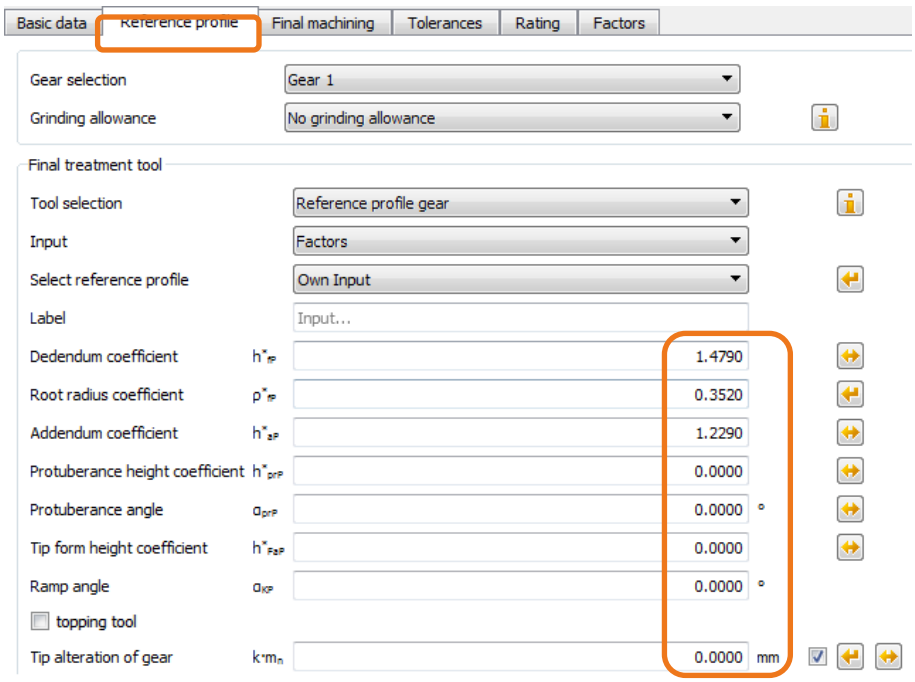


图27.　在“Reference profile”标签下，深齿制齿形的基准齿廓界面

计算得到的重合度这时会非常接近与 3，导致啮合刚度极为平坦：

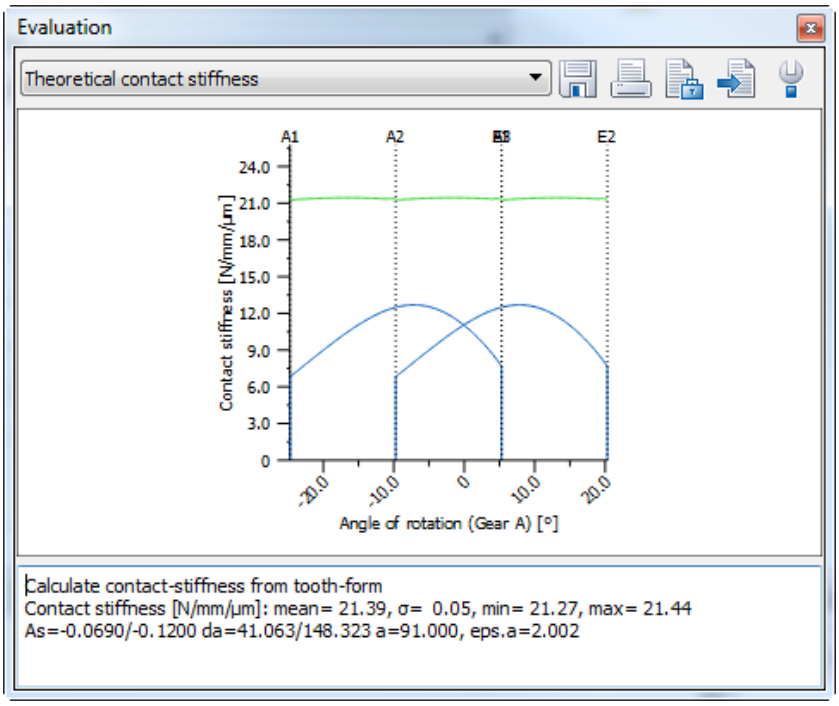


图28.　啮合时的理论啮合刚度曲线

3.4　强度分析的深入内容

齿轮强度分析的最后一步，用户必须输入润滑参数以及齿面载荷分布系数。

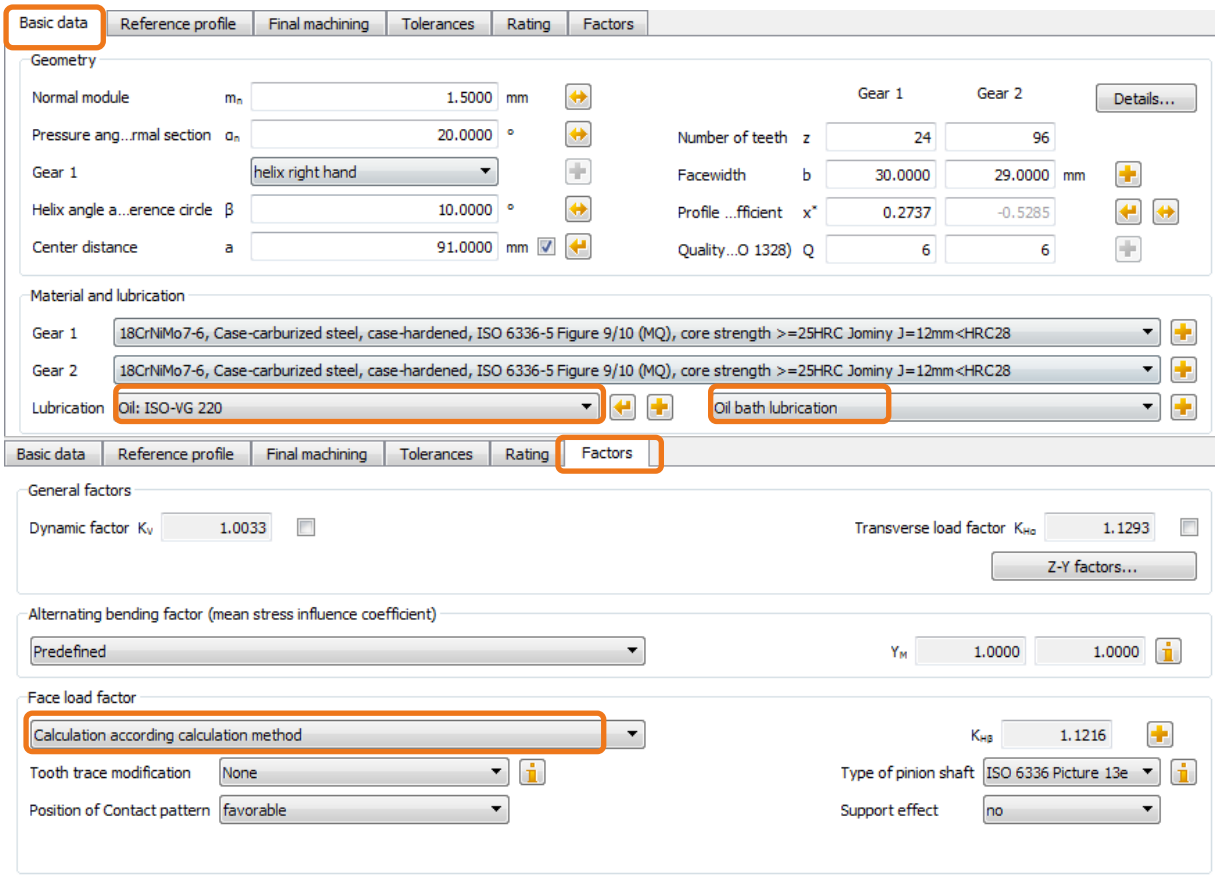


图29. 输入润滑数据，并打开齿面载荷分布系数的输入窗口

用户可以直接在下拉列表中选择润滑方式和润滑油型号（如图中左右两侧的标示框）。用户而也可以使用数据库工具，在列表中添加新的润滑油。

点击附加计算按钮  （如图 29，Materials and Lubrication 材料和润滑部分的右下角标识），定义润滑温度。

在“**Operating backlash**”标签下输入工作温度、环境或者壳体温度（如下图中的标示框）。

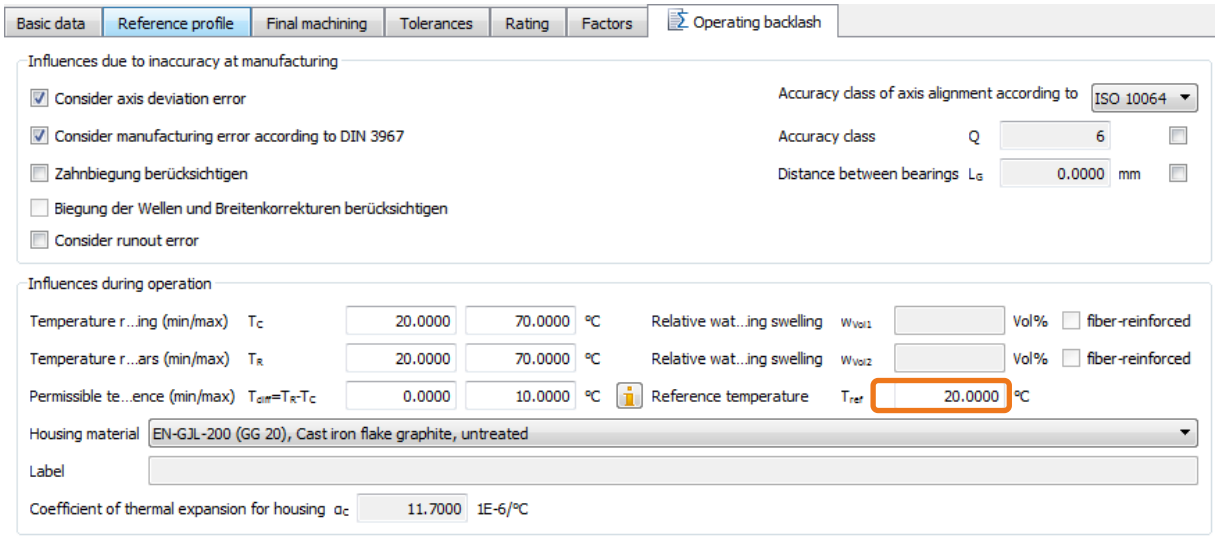
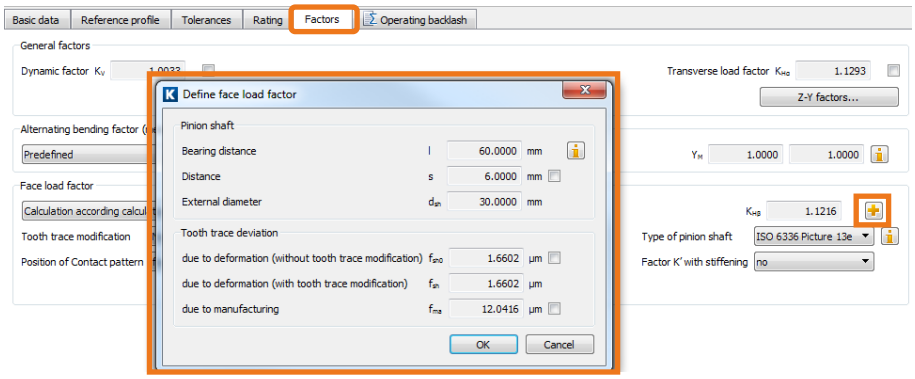


图30. Operating backlash 工作侧隙



齿面载荷分布系数可以用方法 A、B 或者 C 进行计算。

用户可以在另一个专门的文件“kisssoft-anl-072-D-Kontaktanalyse-Stirnradberechnung”中看到更多信息，可以向 KISSsoft 支持部门索要这一文件。

请注意，用户通常并不需要在这里进行改变。

图31. 输入其他参数，尤其是用于设置齿面载荷分布系数的数值

重要提示：

如果强度分析或者寿命计算，是用于评估精细选型得到的变量，用户必须在执行选型之前输入上面列出的参数。