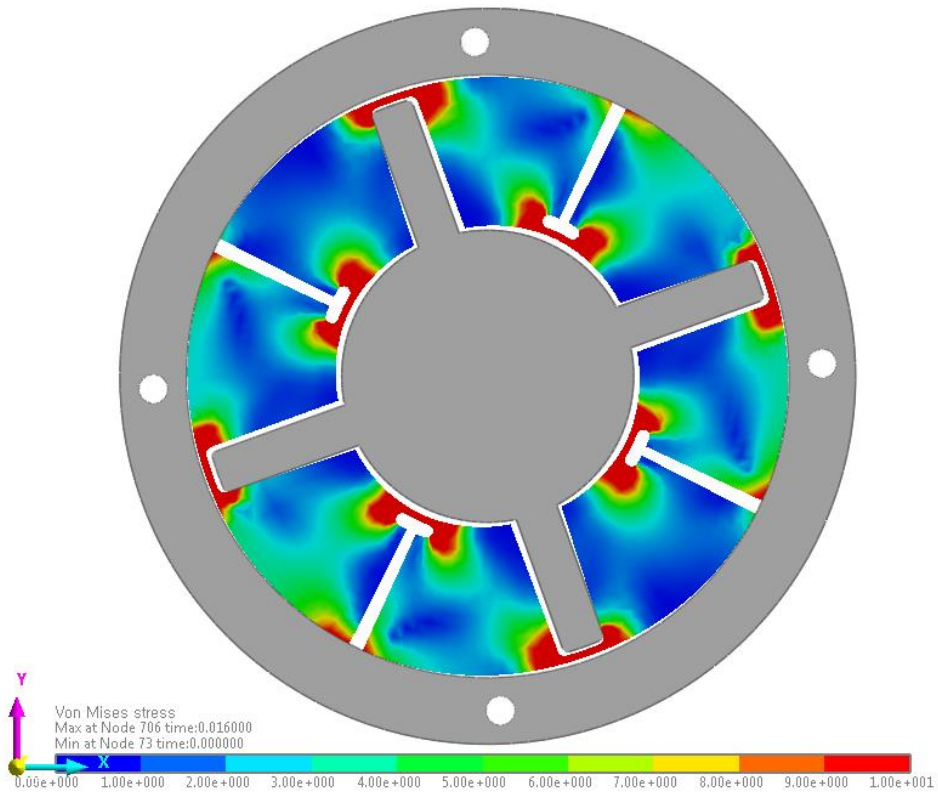




柔性离合器教程(FFlex)



Copyright © 2017 FunctionBay, Inc. All rights reserved

User and training documentation from FunctionBay, Inc. is subjected to the copyright laws of the Republic of Korea and other countries and is provided under a license agreement that restricts copying, disclosure, and use of such documentation. FunctionBay, Inc. hereby grants to the licensed user the right to make copies in printed form of this documentation if provided on software media, but only for internal/personal use and in accordance with the license agreement under which the applicable software is licensed. Any copy made shall include the FunctionBay, Inc. copyright notice and any other proprietary notice provided by FunctionBay, Inc. This documentation may not be disclosed, transferred, modified, or reduced to any form, including electronic media, or transmitted or made publicly available by any means without the prior written consent of FunctionBay, Inc. and no authorization is granted to make copies for such purpose.

Information described herein is furnished for general information only, is subjected to change without notice, and should not be construed as a warranty or commitment by FunctionBay, Inc. FunctionBay, Inc. assumes no responsibility or liability for any errors or inaccuracies that may appear in this document.

The software described in this document is provided under written license agreement, contains valuable trade secrets and proprietary information, and is protected by the copyright laws of the Republic of Korea and other countries. UNAUTHORIZED USE OF SOFTWARE OR ITS DOCUMENTATION CAN RESULT IN CIVIL DAMAGES AND CRIMINAL PROSECUTION.

Registered Trademarks of FunctionBay, Inc. or Subsidiary

RecurDyn[™] is a registered trademark of FunctionBay, Inc.

RecurDyn[™]/SOLVER, *RecurDyn*[™]/MODELER, *RecurDyn*[™]/PROCESSNET, *RecurDyn*[™]/AUTODESIGN, *RecurDyn*[™]/COLINK, *RecurDyn*[™]/DURABILITY, *RecurDyn*[™]/FFLEX, *RecurDyn*[™]/RFLEX, *RecurDyn*[™]/RFLEXGEN, *RecurDyn*[™]/LINEAR, *RecurDyn*[™]/EHD(Styer), *RecurDyn*[™]/ECFD_EHD, *RecurDyn*[™]/CONTROL, *RecurDyn*[™]/MESHINTERFACE, *RecurDyn*[™]/PARTICLES, *RecurDyn*[™]/PARTICLEWORKS, *RecurDyn*[™]/ETEMPLATE, *RecurDyn*[™]/BEARING, *RecurDyn*[™]/SPRING, *RecurDyn*[™]/TIRE, *RecurDyn*[™]/TRACK_HM, *RecurDyn*[™]/TRACK_LM, *RecurDyn*[™]/CHAIN, *RecurDyn*[™]/MTT2D, *RecurDyn*[™]/MTT3D, *RecurDyn*[™]/BELT, *RecurDyn*[™]/R2R2D, *RecurDyn*[™]/HAT, *RecurDyn*[™]/曲柄, *RecurDyn*[™]/PISTON, *RecurDyn*[™]/VALVE, *RecurDyn*[™]/TIMINGCHAIN, *RecurDyn*[™]/ENGINE, *RecurDyn*[™]/GEAR are trademarks of FunctionBay, Inc.

Third-Party Trademarks

Windows and Windows NT are registered trademarks of Microsoft Corporation.

ProENGINEER and ProMECHANICA are registered trademarks of PTC Corp. Unigraphics and I-DEAS are registered trademarks of UGS Corp. SolidWorks is a registered trademark of SolidWorks Corp. AutoCAD is a registered trademark of Autodesk, Inc.

CADAM and CATIA are registered trademarks of Dassault Systems. FLEX/m is a registered trademark of GLOBEtrotter Software, Inc. All other brand or product names are trademarks or registered trademarks of their respective holders.

Edition Note

These documents describe the release information of *RecurDyn*[™] V9R1.

目录

预备工作.....	5
目标	5
读者	5
预备知识	5
步骤	5
预计完成的时间.....	6
导入模型几何.....	7
任务目标	7
预计完成的时间.....	7
柔性离合器模型.....	8
启动 RecurDyn	9
导入柔性离合器片网格数据.....	9
导入刚体几何	11
增加运动副和力	13
任务目标	13
预计完成的时间.....	13
创建旋转副.....	14
创建扭矩表达式.....	16
创建驱动和负载扭矩	18
定义表面和接触	20
任务目标	20
预计完成的时间.....	20
模型中的接触	21
创建片集	22
创建面表面.....	24
创建接触	25
调整接触	29
创建一个边界条件.....	32
任务目标	32
预计完成的时间.....	32

创建一个边界条件.....	33
模型仿真.....	34
任务目标.....	34
预计完成的时间.....	34
设置 Stress Recovery 为 Center.....	35
设置并运行仿真.....	36
开启离合器片的应力云图显示.....	37
查看动画结果.....	38
绘制仿真结果.....	40
创建剩余的片集.....	47
任务目标.....	47
预计完成的时间.....	47
创建剩余的片集.....	48



预备工作

目标

柔性体间接触的建模和仿真是多体动力学中的一个重要课题。RecurDyn FFlex 工具包拥有的强大功能，可以定义并仿真柔性体与其它部件之间的滑动及滚动接触。

本教程中的案例是一个雪橇摩托的离心式离合器，依靠一个柔性片运转。使用一个柔性离合器片而不是带弹簧的分离部件的优点在于大大减少了零件数量，同时简化了制造工艺并增加了机器的稳定性。

注意，本教程中所用的模型并不基于任何实际产品或设计理念，而是借用了 Brigham Young University Compliant Mechanisms Research Center 发表的，用于柔性机构的推荐应用。

读者

本教程适用于已经学过如何创建几何、运动副、力元素和 2D 接触的 RecurDyn 新用户。所有新的任务都将会做详细说明。

预备知识

用户应该先学习 3D 曲柄滑块，带螺旋桨的发动机以及弹球(2D 接触)教程，或其它相当教程。读者必须具备一些基本的物理知识。

步骤

本教程包含了以下步骤，预计完成每个步骤的时间如下表所示。

步骤	时间 (分钟)
导入模型几何	10
加入运动副和力	15
定义表面和接触	20
创建边界条件	5
模型仿真	15
总计:	65



预计完成的时间

本教程大约需要 65 分钟来完成。如果按附录 A 创建所有的片集，需要另外 25 分钟左右的时间。

Chapter
2

导入模型几何

任务目标

学习如何导入刚性和柔性部件，来创建柔性离合器模型。

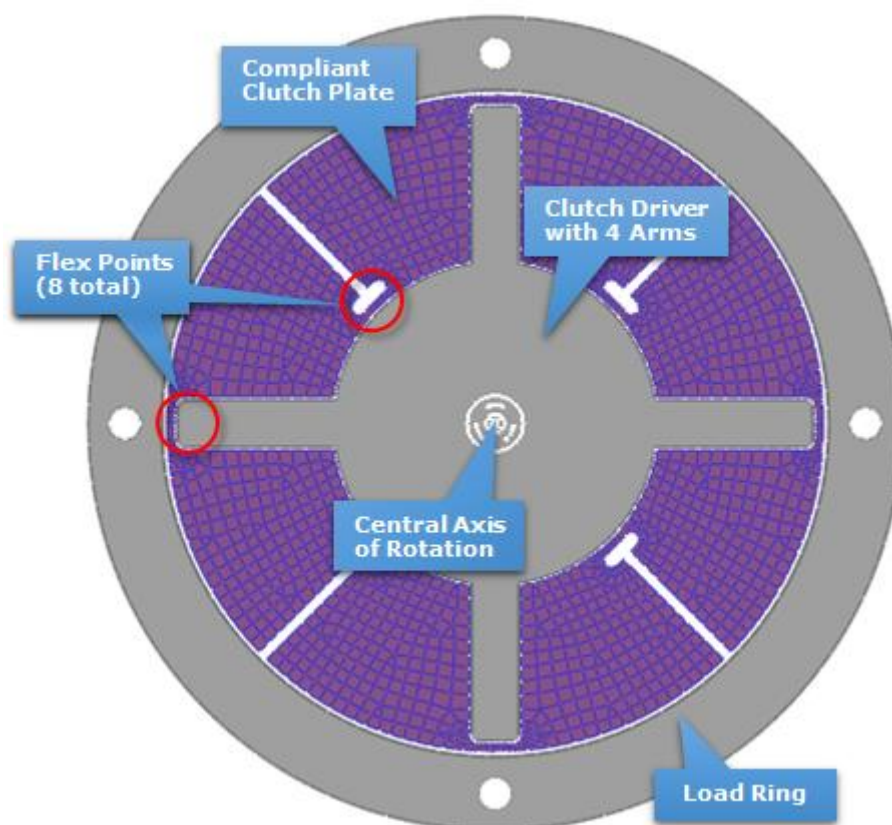


预计完成的时间

10 分钟

柔性离合器模型

本教程中采用的模型是一个依靠柔性片运转的离心式离合器，如下图所示。



连接电源后，离合器驱动器开始围绕中心轴旋转，随后四个机械臂会推动柔性离合器片一起旋转。随着转速加快，离心力将离合器片向外拉，在 8 个点弯曲。随着离合器片向外移动，它会与连接负载的外环相接触，离合器片与外环之间的摩擦，导致负载环开始旋转，从而将能量从离合器驱动器传递到负载上。

在即将建立的 RecurDyn 模型中，柔性离合器片会被看做一个柔性体，并为其导入一个 NASTRAN 大数据文件。其它部件会被看做刚性体，为其导入几何文件。

注意：

为提高本教程中仿真的效率，此模型代表了实际离合器中 1mm 厚的横截面，驱动扭矩和负荷扭矩也相应缩小。同样的，最终得到的仿真结果也被缩小了。

启动 RecurDyn

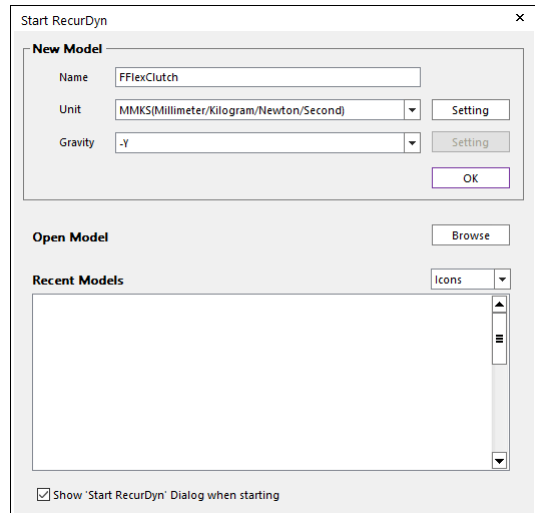
启动 RecurDyn，并创建一个新模型：



1. 双击桌面上的 RecurDyn 工具。

RecurDyn 启动，并弹出新模型窗口。

2. 输入新模型名称 FFlexClutch。
3. 点击 OK。



导入柔性离合器片网格数据

现在，需要将离合器片的网格数据导入模型中。这里的几何体已在 CAD 系统中合适的位置建模。不需要再调整几何的位置。

导入一个网格数据文件：

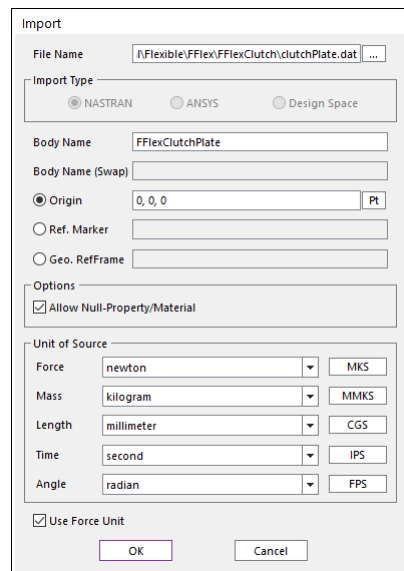


1. 在 Flexible 标签的 FFlex 组中，点击 Import。
2. 选择点(0, 0, 0)，作为原点：
 - 在输入窗口工具栏中，输入 0, 0, 0。
 - 在工作窗口中选择该点。
3. 选择 ClutchPlate.dat。(文件路径： <Install Dir>\Help\Tutorial\Flexible \FFlex,\ CompliantClutch 如果找不到请向的指导者询问目录路径)。
4. 点击 Open。

5. 在弹出的 **Import** 对话框中，将 **Body Name** 改为 **FFlexClutchPlate**。

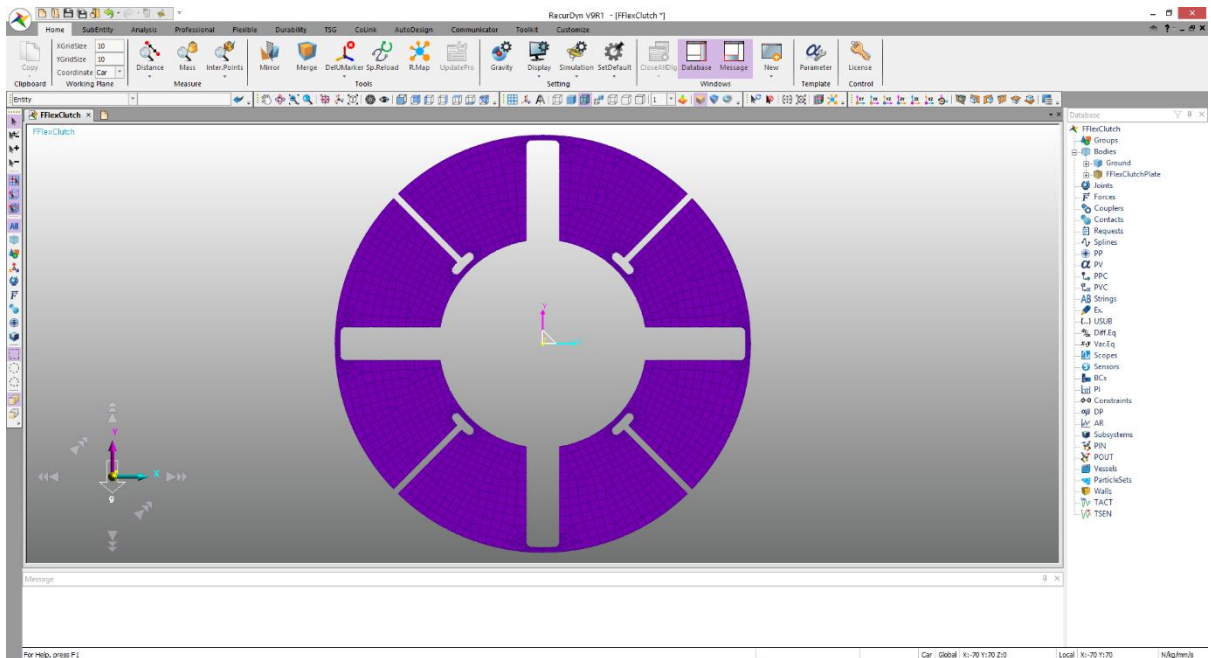
6. 点击 **OK**。

离合器片会出现在工作窗口中，但是比较小。



7. 通过按 **F** 键，将几何调试到窗口中，并将网格间距、图标尺寸和标记尺寸设置为 10。

模型会显示如下。



8. 将 **rendering mode** 设为 **Shade**。

导入刚体几何

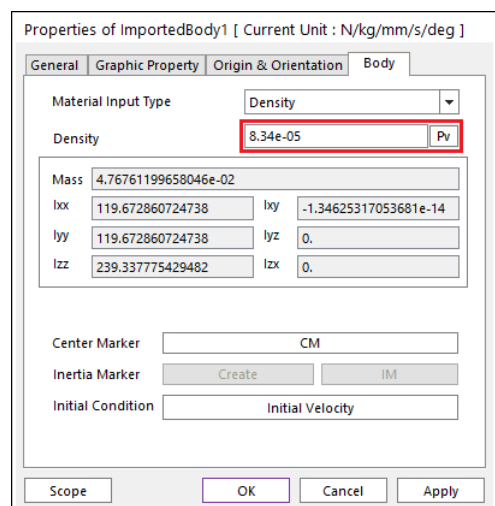
导入驱动器:

1. 在 **File** 菜单中, 点击 **Import**。
2. 将 **Files of type** 设为 **ParaSolid File (*.x_t;*.x_b ...)**。
3. 在 **FFlex** 教程文件夹中, 选择文件: **clutchDriver.x_t**
(文件路径: <Install Dir>\Help\Tutorial\Flexible \FFlex\CompliantClutch)。
4. 点击 **Open**。
5. 在数据库窗口中, 右键点击 **ImportBody1**, 并点击 **Property**。
6. 在 **General** 页中, 将部件重命名为 **ClutchDriver**。
7. 点击 **OK**。

导入负载环:

1. 重复步骤 1 到 6, 这次导入文件 **clutchLoad.x_t**, 并将部件重命名为 **ClutchLoad**。(文件路径: <Install Dir> \Help\Tutorial\Flexible \FFlex\CompliantClutch, 如果找不到请向教员询问目录路径)。
2. 点击 **Body** 标签。
3. 在 **Density** 文本框中, 输入 **8.34e-005**。

这会增加负载的旋转惯性, 模拟雪橇摩托的重量。

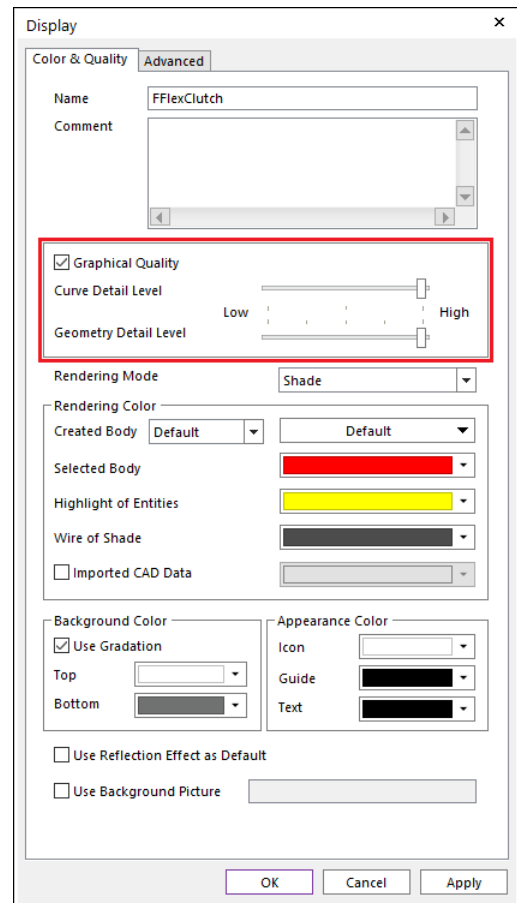


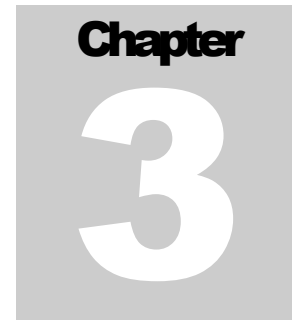
这时，离合器的所有部件就都已显示出来，但是圆边的渲染很差。下面将改进渲染的质量，这在后面的动画中，查看表面接触的互相作用时，是非常重要的。

改进几何体的渲染：

1. 在 **Home** 标签的 **Display Settings** 组中，选择 **Display** 工具。
2. 选择 **Color&Quality** 标签。
3. 将 **Curve Detail Level** 和 **Geometry Detail Level** 边上的滑块，移动到 **High** 档。
4. 点击 **OK**。

保存模型。





添加运动副和力矩

现在，将对模型添加旋转副、驱动和负载扭矩。

任务目标

学习：

- 创建旋转副。
- 创建用于驱动和负载扭矩的表达式。



预计完成的时间

15 分钟

创建旋转副

下面创建两个旋转副，分别添加驱动和负载。由于离合器片受到其它几何体约束，所以不必为该部件增加运动副。

创建运动副并添加驱动：



1. 在 **Professional** 标签的 **Joint** 组中，点击 **Revolute** 工具。
2. 将 **Creation Method** 工具栏设为 **Body, Body, Point**。
3. 在工作界面，点击任意地方(不要点击部件)，将 **Ground** 设为第一个部件。
4. 点击 **ClutchDriver** 部件，将其选为第二个部件。
5. 在 **Input Window** 工具栏中，输入 0, 0, 0 作为运动副的位置。
6. 在数据库窗口中，右键点击 **RevJoint1**，并点击 **Property**。
7. 在 **General** 页中，将运动副重命名为 **Rev_driver**。
8. 点击 **OK**。

下面以相同的方法创建离合器负载的旋转副，但是要增加摩擦。

创建负载运动副：



1. 再次点击 **Revolute** 工具，保证创建模式仍然是 **Body, Body, Point**。
2. 在工作界面，点击任意地方，将 **Ground** 设为第一个部件
3. 点击 **ClutchLoad** 部件，将其选为第二个部件。
4. 在输入窗口工具栏中，输入 0, 0, 0 作为运动副的位置。
5. 在数据库窗口中，右键点击 **RevJoint1**，并点击 **Property**。

6. 在 **General** 页中，将运动副重命名为 **Rev_load**。
7. 点击 **Joint** 标签。
8. 点击 **Include Friction** 旁边的复选框，并点击 **Sliding**。
9. 完成如下设置：
 - **Static Friction Coefficient:** 0.1
 - **Dynamic Friction Coefficient:** .1
 - **Inner Radius Factor:** 20
 - **Outer Radius Factor:** 20
10. 点击 **Close**。
11. 点击 **OK**。

Parameter	Value	Unit
Cross Section	Circular	
Absolute Threshold Velocity	4532925199433e-02	Pv
Static Friction Coefficient	0.1	Pv
Dynamic Friction Coefficient	0.1	Pv
Inner Radius Factor	20	Pv
Outer Radius Factor	20	Pv
Radial Preload Force	0.	Pv
Axial Preload Force	0.	Pv
Maximum Friction Torque	0.	Pv

创建扭矩表达式

下面创建驱动和负载扭矩的表达式：

- 驱动扭矩是在 0.01 秒内从 0 逐渐增加到 10,000 N·mm。
- 负载扭矩与驱动扭矩的方向相反，并随负载转速平方根的变化而变化，模拟雪橇摩托由于风阻而承受的负载。

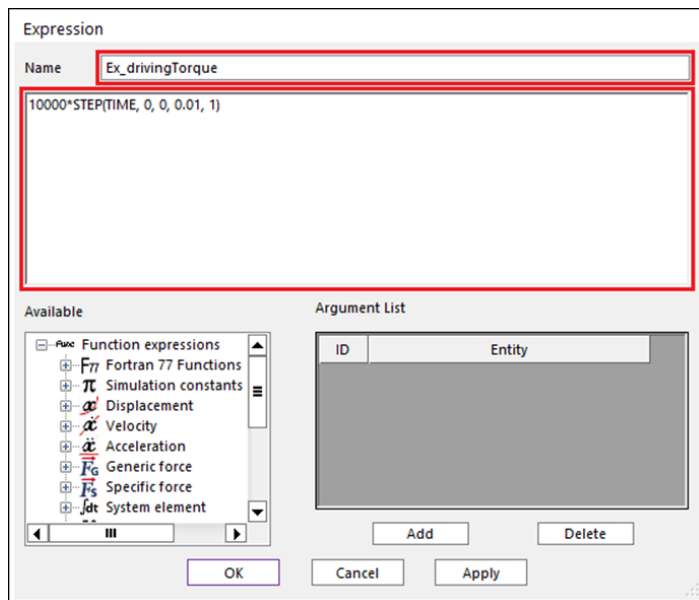
如前文所述，扭矩已缩小比例，与模型匹配。

创建驱动扭矩表达式：



1. 在 **SubEntity** 标签的 **Expression** 组中，点击 **Expression**。
2. 点击 **Create**。

后续步骤参考下图。

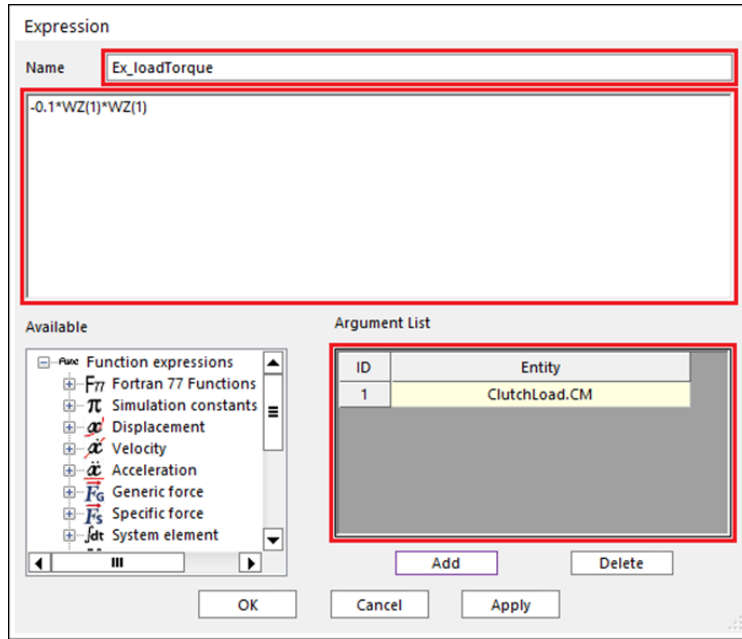


3. 重命名为 **Ex_drivingTorque**。
4. 表达式为：
 - $10000 * \text{STEP}(\text{TIME}, 0, 0, 0.01, 1)$
5. 点击 **OK**。

创建负载扭矩表达式:

1. 点击 **Create**, 创建一个新的表达式。

后续步骤参考下图。



2. 表达式命名为 **Ex_loadTorque**。
3. 表达式为:
 - $-0.1*WZ(1)*WZ(1)$
4. 在 **Argument List** 下, 点击 **Add**。
5. 在数据库窗口中, 扩展 **Bodies**→**ClutchLoad**→**Markers**→**CM**。
6. 将 **CM** 拖拽到 **Entity** 下的空白框内, 作为第一个参数。
7. 点击 **OK** 两次。

创建驱动和负载扭矩

下面，在旋转副上创建离合器的驱动和负载扭矩，并将它们连接到刚创建的表达式上。

创建驱动扭矩：



1. 在 **Professional** 标签的 **Force** 组中，点击 **Rot.Axial** 工具。
2. 将 **Creation Method** 设为 **Joint**。
3. 在工作窗口中，右键点击两个旋转副，并点击 **Select List**。

屏幕位置可选的元素会以列表形式出现。

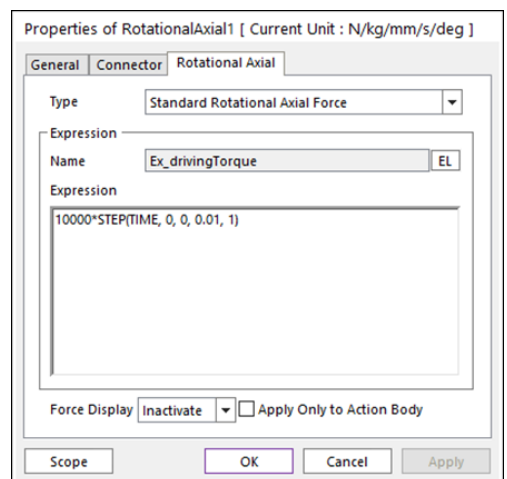
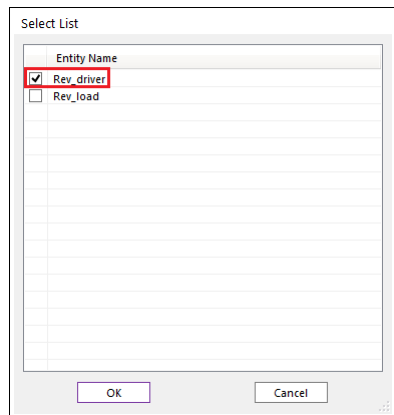
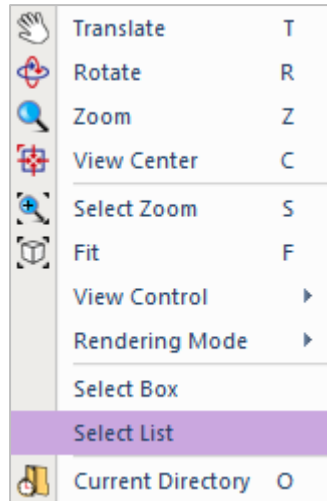
4. 在列表中，选择 **Rev_driver**。
5. 点击 **OK**。
6. 在数据库窗口中，右键点击 **RotationalAxial1** (在 **Forces** 下面)，并点击 **Property**。
7. 点击 **EL**。
8. 在 **Expression List** 窗口中，选择 **Ex_drivingTorque**。

9. 点击 **OK**。

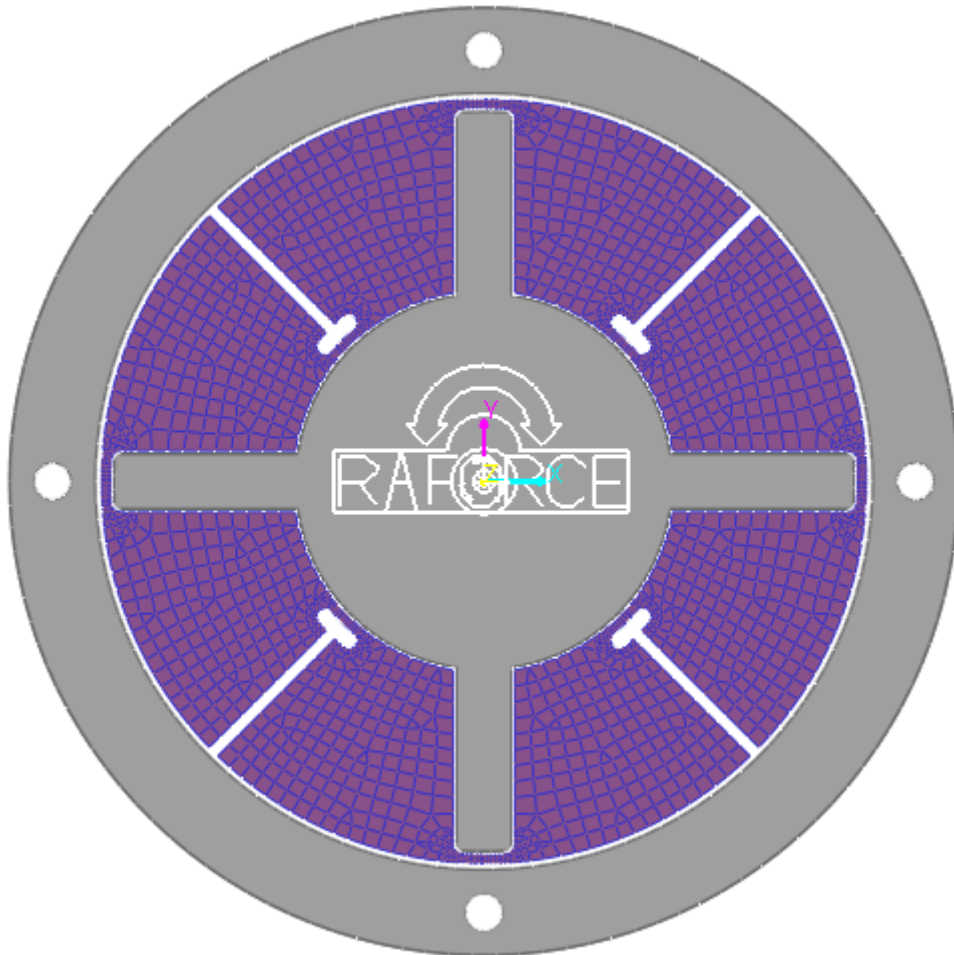
属性对话框会弹出，如右图所示。

10. 在 **General** 页中，将力矩重命名为 **RotAx_driver**。

11. 点击 **OK**。



创建完驱动扭矩后，模型会如下图所示：



创建负载扭矩：

重复上述步骤，但这次：

- 选择 **Rev_load** 作为运动副。
- 选择 **Ex_loadTorque** 作为表达式。
- 将力矩重命名为 **RotAx_load**。

保存模型。

Chapter 4

定义表面和接触

在本章中，将创建柔性表面与刚性表面接触所需的元素。

任务目标

下面进行：

- 创建一个柔性体上的接触表面。
- 定义一个柔性表面和刚性表面之间的接触



预计完成的时间

20 分钟

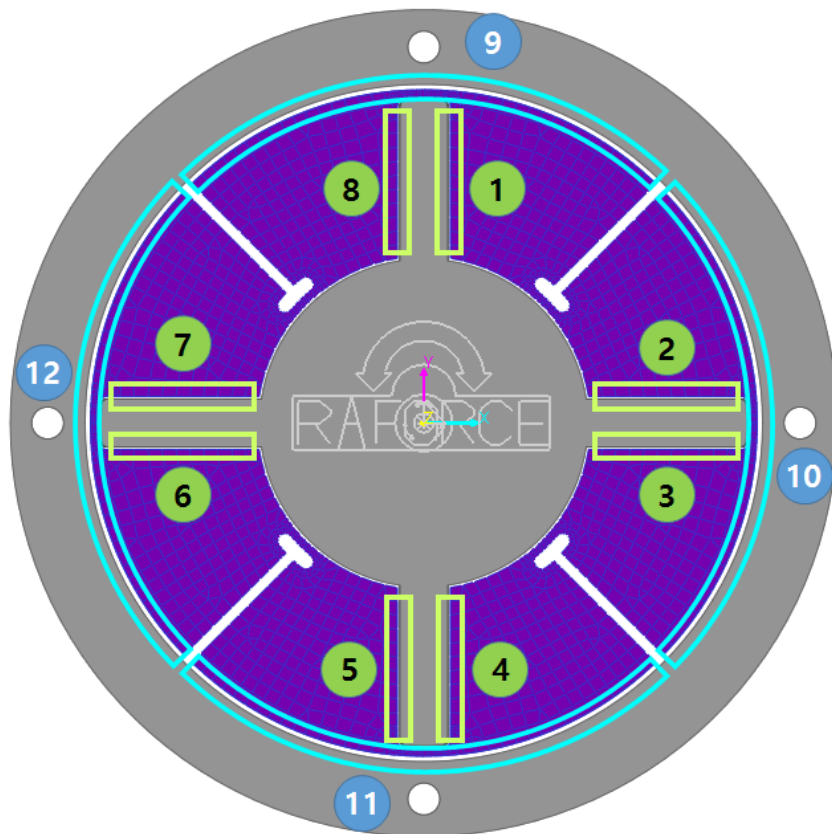
模型中的接触

下面在模型中创建 12 个接触，每个都代表了两个表面之间的相互作用。在此模型中，一些接触代表了驱动器和离合器片表面之间的接触，另一些接触则代表了离合器片与负载之间的接触。

- 如果接触表面在离合器片上，它就可以通过选择一个有限元网格中的单元面集来定义。这个单元面集指的是片集。
- 如果接触表面在驱动器上，那么它就定义为一个面的表面。

下图显示了需要创建接触的 12 个区域，标记的数字在教程后面会用到。

接触分布图



注意：并不是所有在离合器上可能的接触区域都被选中建模。这是因为当驱动器驱动离合器片时，离心力会把离合器片元素向外拉，向离合器负载方向拉。记住这一点，会减少接触的数量，并减少仿真时长。

创建片集

如之前所介绍过的一样，如果接触表面在离合器片上，需要在定义接触之前创建一个片集。需要创建 9 个片集。为了简便起见，在创建完第一个片集后，可以打开一个包含了已定义片集的 FFlexClutch_Intermediate.rdyn。如果想见如何创建片集，可以参考 48 页的附录 A，创建剩余片集。

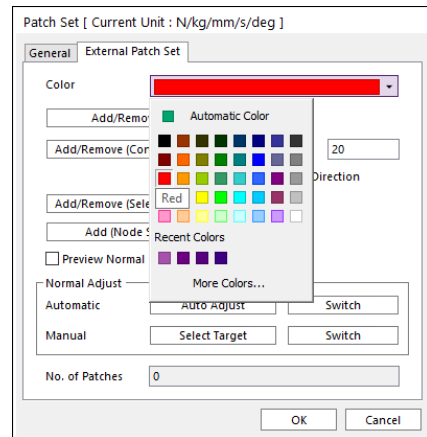
在一个柔性体上，创建片集：

1. 在数据库窗口中，右键点击 **FFlexClutchPlate**，并点击 **Edit**。

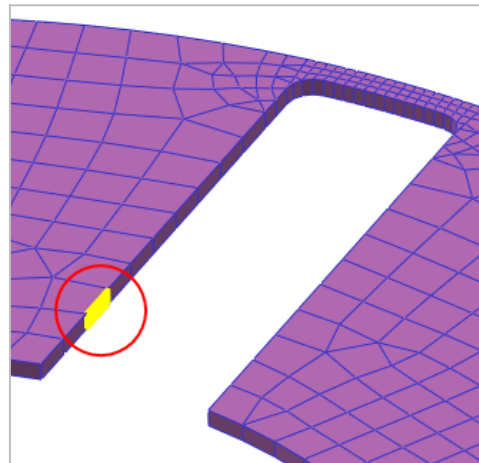


RecurDyn 现在进入离合器片的部件编辑模式。

2. 在 **FFlex Edit** 标签的 **Set** 组中，点击 **Patch**。
3. 选择红色，如右图所示。
4. 将 **Tolerance (Degree)** 改为 20。
5. 点击 **Add/Remove (Continuous)**。

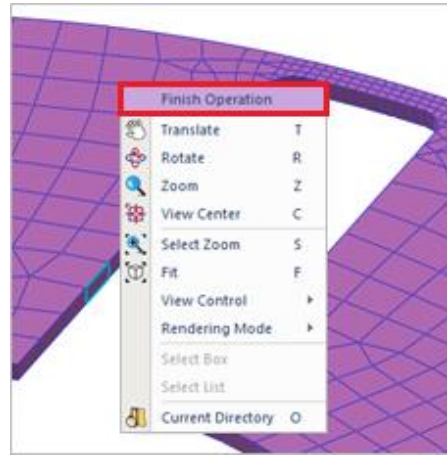


6. 将 **FFlexClutchPlate** 几何放大，如右图所示。并选择如右图所示的单元，用黄色标记高亮。

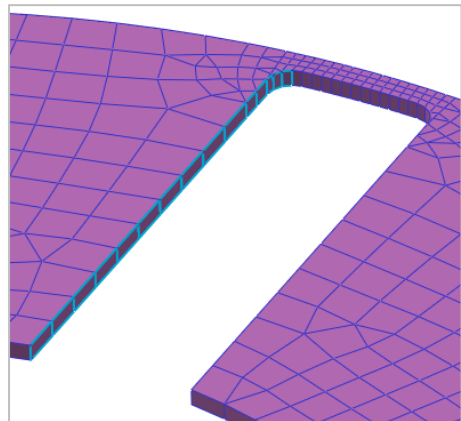


7. 在工作窗口中，右键单击，并点击 **Finish Operation**。

8. 点击片集对话框中的 **Add/Remove**。



9. 按住 **CTRL** 键，并选择第一个接触面的单元面，如右图所示，用天蓝色高亮，右键单击，并点击 **Finish Operation**。



提示：
如何轻松地选择网格：

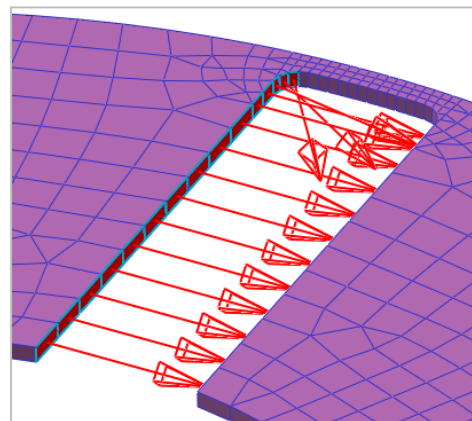
按住 **CTRL** 键，多次点击同一个单元，会在选择和取消选择之间切换。
在选择模式下，如果没有按住 **CTRL** 键，又选择了另一个单元，那么之前所选的所有单元都会被取消，只选中当前点击选择的单元。



- 在柔性工具栏中，选择 **Add 选项**，如下图所示。

- 同时，注意有一个 **Remove** 选项。选择该项会取消已经选择的网格。

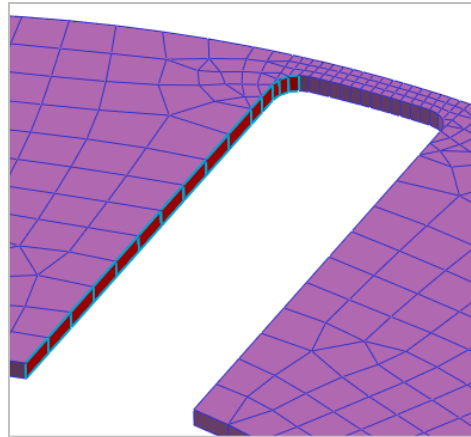
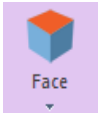
10. 在片集对话框中，勾选 **Preview Normal** 旁边的选框。



11. 保证所有的法线都从表面指向外侧，如右图所示。如果不是的话，点击 **Auto Adjust**(Automatic 的右边)将所有法线调节为一致，指向同一个方向。如果这个方向不是想要的方向，点击 **Switch** 来调节法线。

12. 点击 **OK**。

13. 片集会出现，如右图所示。



这时，可以：

- 打开中间模型 **FFlexClutch_Intermediate.rdyn**，剩余的片集已经定义完成，并继续下一步骤，创建 **facesurface**。(文件路径：`<Install Dir> \Help \Tutorial \Flexible \FFlex \CompliantClutch`)

(或者，遵循 46 页上附录 A 的指示，创建完剩余的片集。)

保存模型。

- 如果使用 **FFlexClutch_Intermediate.rdyn** 模型，保存为另一个路径，因为不能在安装路径中直接仿真这个模型。

创建 **facesurface**

在一个刚体上创建 **facesurface**：

1. 在数据库窗口中，右键点击 **ClutchDriver**，并点击 **Edit**。

现在进入了离合器驱动器的部件编辑模式。

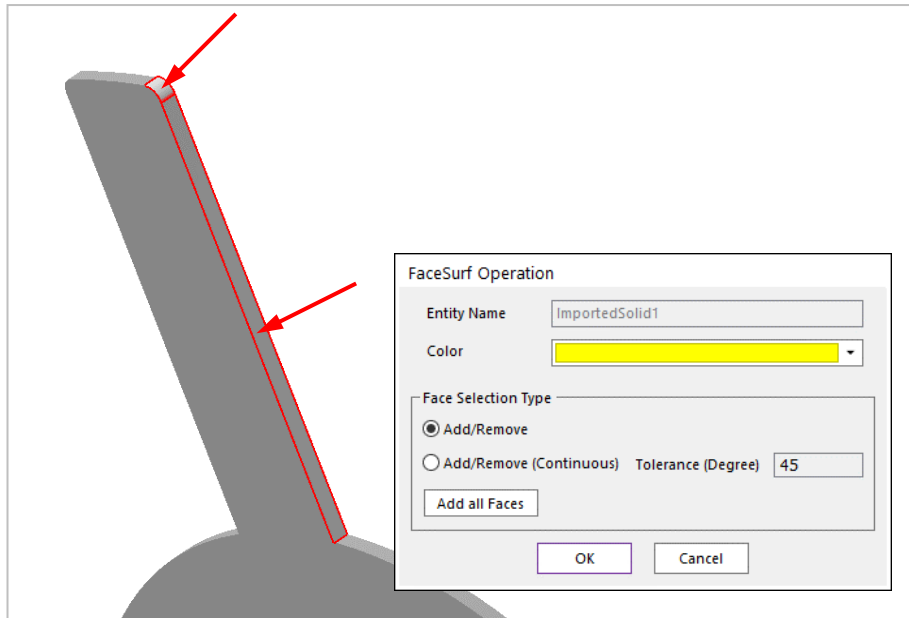
2. 在 **Geometry** 标签的 **Surface** 组中，点击 **FaceSurface**。

3. 将 **Creation Method** 工具栏设为 **Solid** 或 **Sheet, MultiFace**。

4. 在工作窗口中，选择离合器驱动器几何。

弹出 **FaceSurf Operation** 操作对话框。

5. 按住 **CTRL** 键，在顶部的悬臂上选择右侧的两个面，如下图所示。



6. 将颜色改为黄色。

7. 点击 **OK**。

创建剩下的面表面：

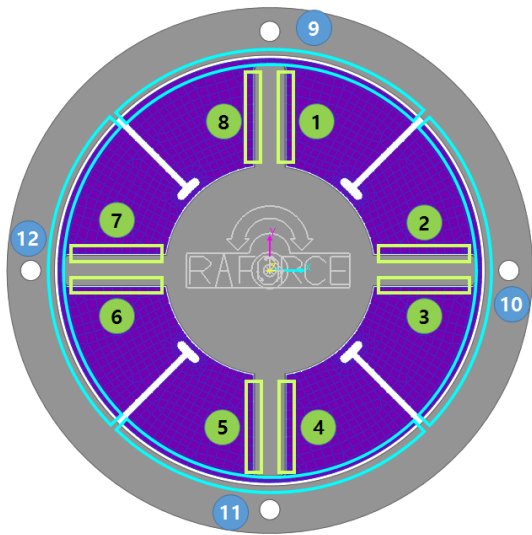
- 继续在离合器驱动器周围重复上述步骤，直到创建完 8 个 facesurface。
- 点击 **Exit**。



创建接触

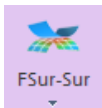
现在已经定义了离合器片和驱动器上的必要接触表面，可以创建接触了。(参考下图所示的创建接触的 12 个区域)

接触分布图

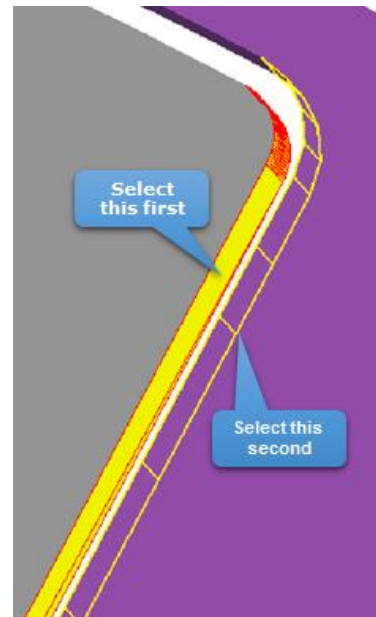


创建一个驱动臂接触:

在 1 区, 可以创建一个接触。



1. 在 **Flexible** 标签的 **FFlex** 组中, 点击 **FSurf.ToSurf.Contact**。
2. 将 **Creation Method** 栏设为 **Surface, PatchSet**。
3. 选择在离合器驱动器上创建的第一个 **facesurface**, 如右图所示。
4. 选择在 **FFlexClutchPlate** 上创建的第一个片集, 如右图所示。
5. 点击 **OK**。

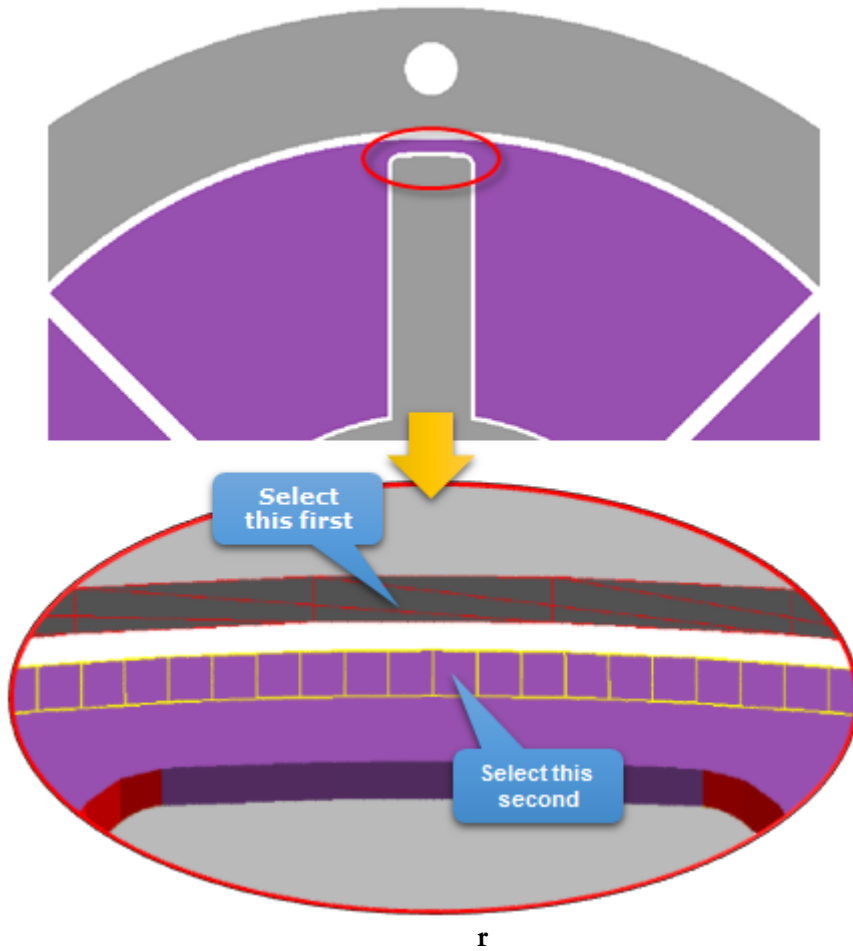


创建剩余驱动臂接触:

为剩余的驱动器与离合器片之间的接触(2-8区), 重复上述步骤, 沿离合器片顺时针进行。

创建离合器片与负载之间的接触:

1. 重复相同步骤，创建一个接触(9区)，这次针对最顶部的接触。选择负载环的圆柱内表面，如下图所示。此表面被选择时，边缘用浅红色高亮显示。

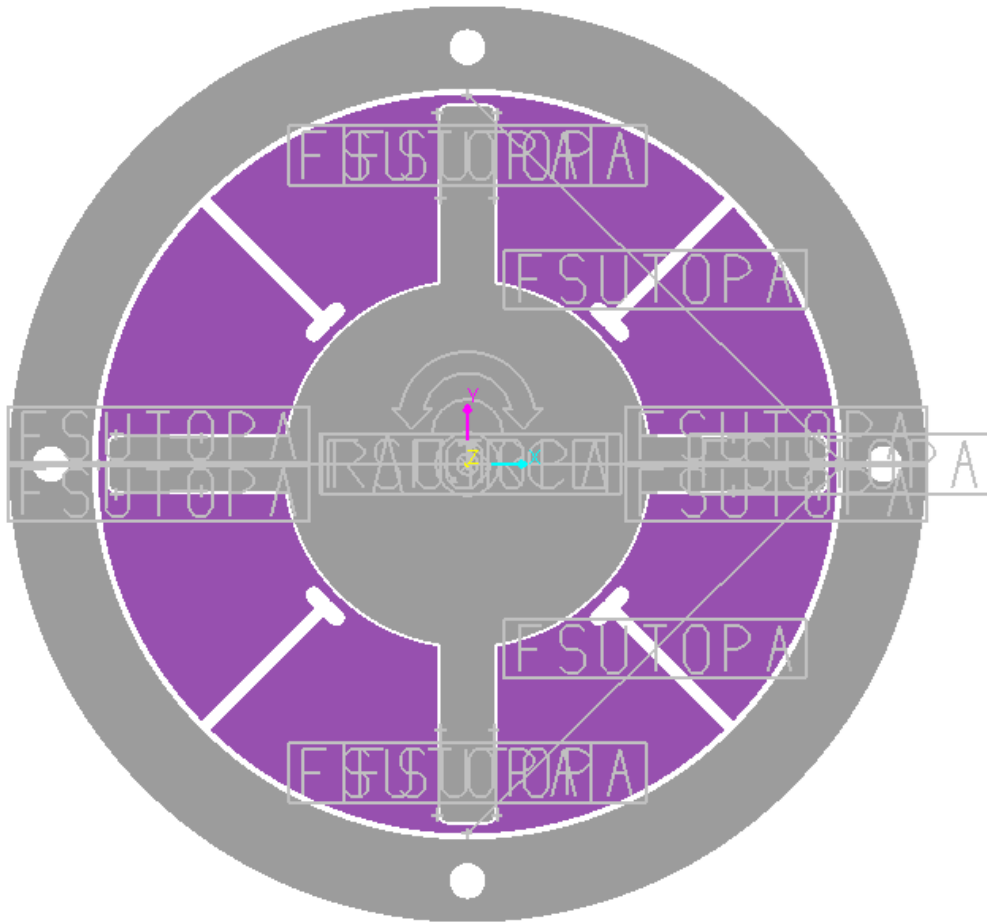


2. 选择顶部的片集，与其它片集一样。

创建剩余离合器片与负载间的接触：

- 为剩余的合器片与负载间的接触(10-12区)，重复相同步骤，沿离合器片顺时针进行。

模型显示如下。

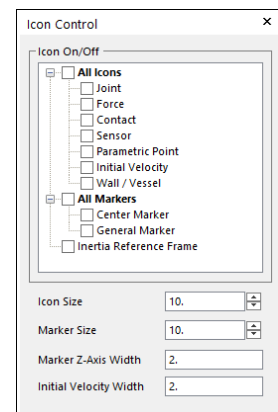


接触的图标使得模型看起来很杂乱，也增加了后续操作步骤的难度。为此，可以关闭接触、旋转副和转动轴力的显示。

清理模型的显示：



1. 在 **View Control Toolbar** 中，点击 **Icon Control**。
2. 清空所有勾选框的勾选。
3. 关闭图标控制对话框 (使用右上角的 **x**)。



调整接触参数

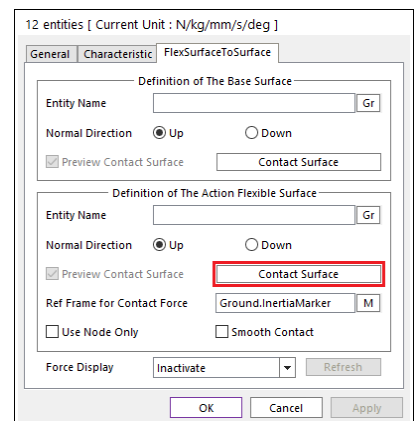
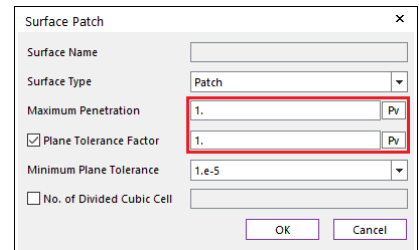
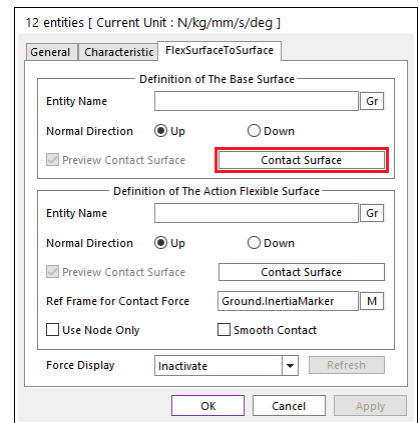
现在所有的接触都已创建，可以调试它们。首先将更改所有接触属性，然后把摩擦添加到离合器片与负载的接触中。

离合器片与负载的接触的摩擦特性非常重要，因为离合器依赖这个摩擦来将能量从驱动器传递给负载环。为了保证这个仿真时间比较短，将使用一个比一般范围更高的摩擦系数。

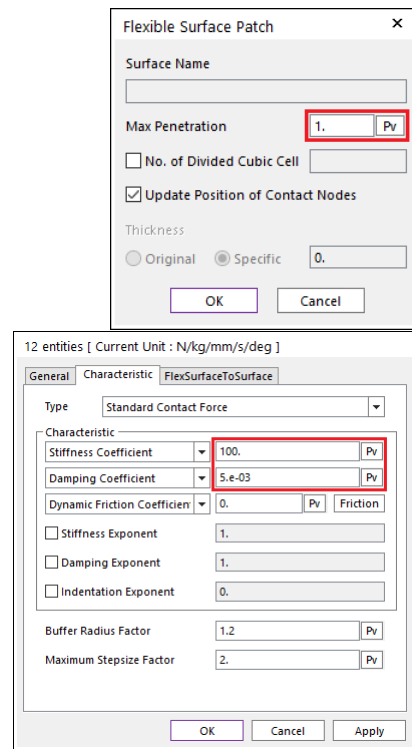
对于驱动臂接触来说，不太关心摩擦。对这些接触而言，将忽略摩擦来缩短仿真时间。

调整接触参数：

1. 在数据库窗口，再次用 **Shift** 键，一次性选择全部 12 个接触 (FSurfaceToSurface1 – FSurfaceToSurface12)。
2. 右键点击所选接触，并点击 **Property**。
3. 在 **FlexSurfaceToSurface** 页上方，为基础表面，点击第一个 **Contact Surface** 按钮，如右图所示。
4. 在 **Surface Patch** 对话框中，设置如下：
 - **Max Penetration:** 1
 - **Plane Tolerance Factor:** 1
5. 点击 **OK**。
6. 对 **Action Flexible Surface**，点击第二个 **Contact Surface** 按钮。
7. 将 **Max Penetration** 改为 1。

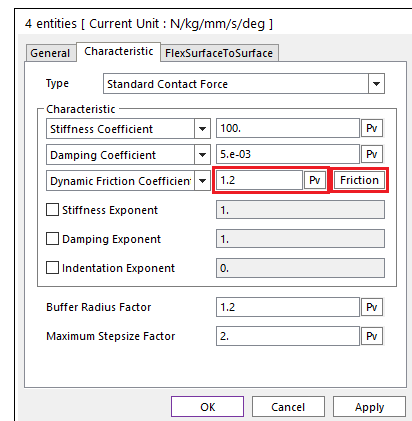


8. 点击 **OK**。
9. 选择 **Characteristic** 标签。
10. 设置如下：
 - **Spring Coefficient:** 100
 - **Damping Coefficient:** 5.e-003
11. 点击 **OK**。

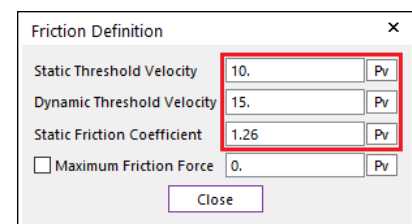


增加离合器片与负载间的接触摩擦:

1. 在数据库窗口中，再次用 **Shift** 键，选择最后四个接触 (**FSurfaceToSurface9** – **FSurfaceToSurface12**)。
2. 右键点击所选接触，并点击 **Property**。
3. 选择 **Characteristic** 标签。
4. 设置如下：
 - **Friction Coefficient:** 1.2
5. 点击 **Friction**。



6. 设置如下：
 - **Static Threshold Velocity:** 10
 - **Dynamic Threshold Velocity:** 15
 - **Static Friction Coefficient:** 1.26
7. 点击 **Close**。



8. 点击 **OK**。

保存模型。



创建边界条件

本章将为离合器片所有的有限元节点创建一个边界条件。边界条件会限制这些节点在 **Z** 方向上的移动。这模拟了实际离合器中，防止离合器片脱落的结构。此外，这还可以通过减少所有单元的自由度来缩短仿真时间。

任务目标

学习为离合器片的所有单元创建一个边界条件。



预计完成的时间

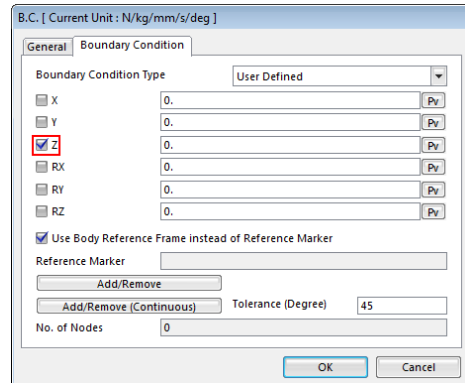
5 分钟

创建边界条件

设置边界条件:



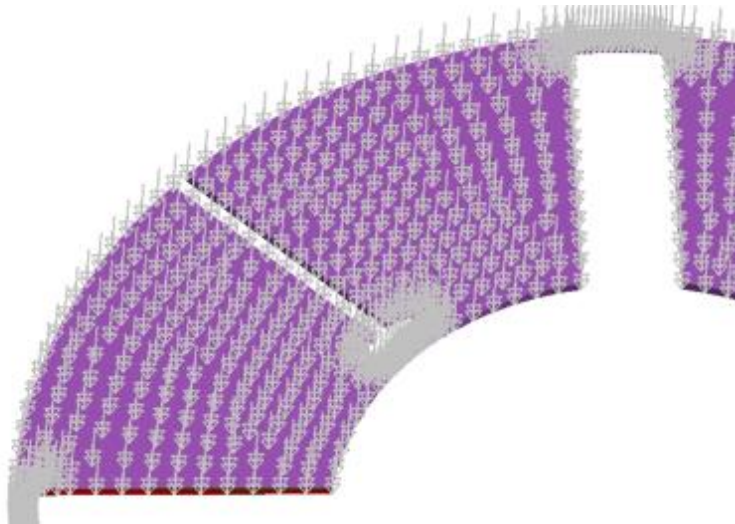
1. 在数据库窗口中，右键单击 **FFlexClutchPlate**，并单击 **Edit**。
2. 在 **FFlex Edit** 标签的 **FFlex Edit** 组中，单击 **B.C.**。
3. 清空运动轴旁边的复选框，除了 **Z** 轴，如右图所示。
4. 单击 **Add/Remove**。
5. 在工作窗口中，通过单击，在整个离合器片外拖拽一个选择框，选择所有节点。
6. 在工作窗口中，右键单击 **Finish Operation**。
7. 单击 **OK**。



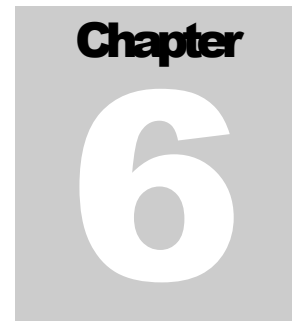
离合器片会如图所示，箭头指向负 **Z** 方向。



8. 单击 **Exit**。



保存模型。



模型仿真

本章将运行仿真，观看内部应力的云图，并播放动画。

任务目标

将学习：

- 设置并运行一次仿真。
- 开启内部应力的云图显示。
- 绘图并解释仿真结果。



预计完成的时间

15 分钟

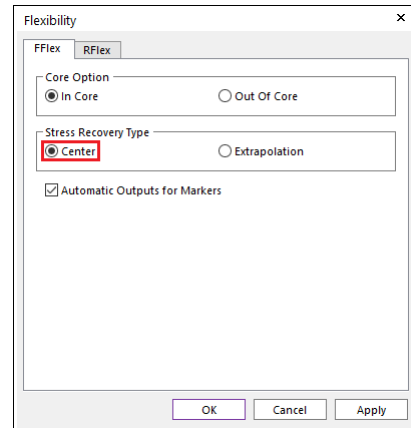
设置 Stress Recovery 为 Center

在运行仿真之前，需要更改 FFlex 部件的应力恢复设置。大多数模型都需要完成此项设置，得到正确的云图。

将应力恢复设为向心：



1. 在 Home 标签的 Model Setting 组中，点击 Flexibility。
2. 选择 FFlex 标签。
3. 在 Stress Recovery Type 下，点击 Center。
4. 点击 OK。



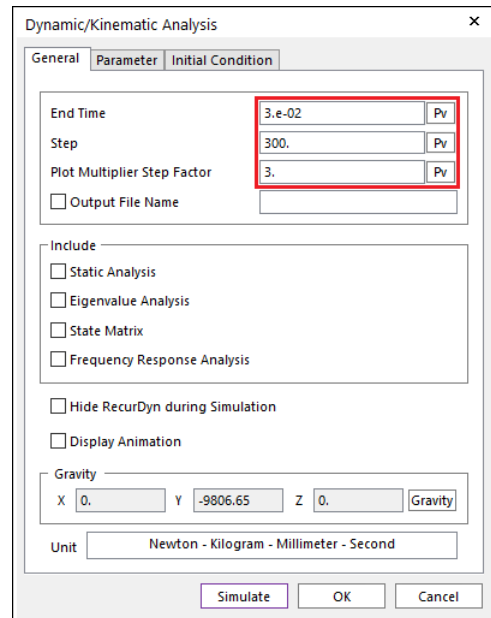
设置并运行仿真

设置并运行仿真：



1. 在 **Analysis** 标签的 **Simulation Type** 组中，点击 **Dyn/Kin**。
2. 在 **General** 标签下，完成如下更改：

- **End Time:** 3.e-002
- **Step:** 300
- **Plot Multiplier Step Factor:** 3

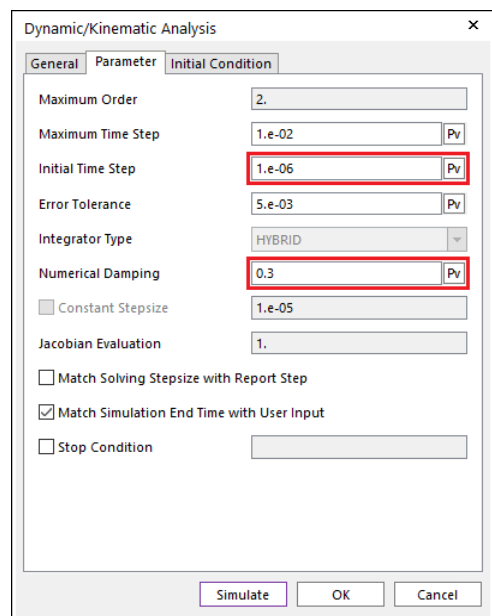


3. 在 **Parameter** 标签中，完成如下更改：

- **Initial Time Step:** 1.e-006
- **Numerical Damping:** 0.3

4. 点击 **Simulate**。

仿真将运行 1 到 5 分钟。



开启离合器片的应力云图显示

为了显示离合器片的内部应力，开启云图显示。

开启云图显示：

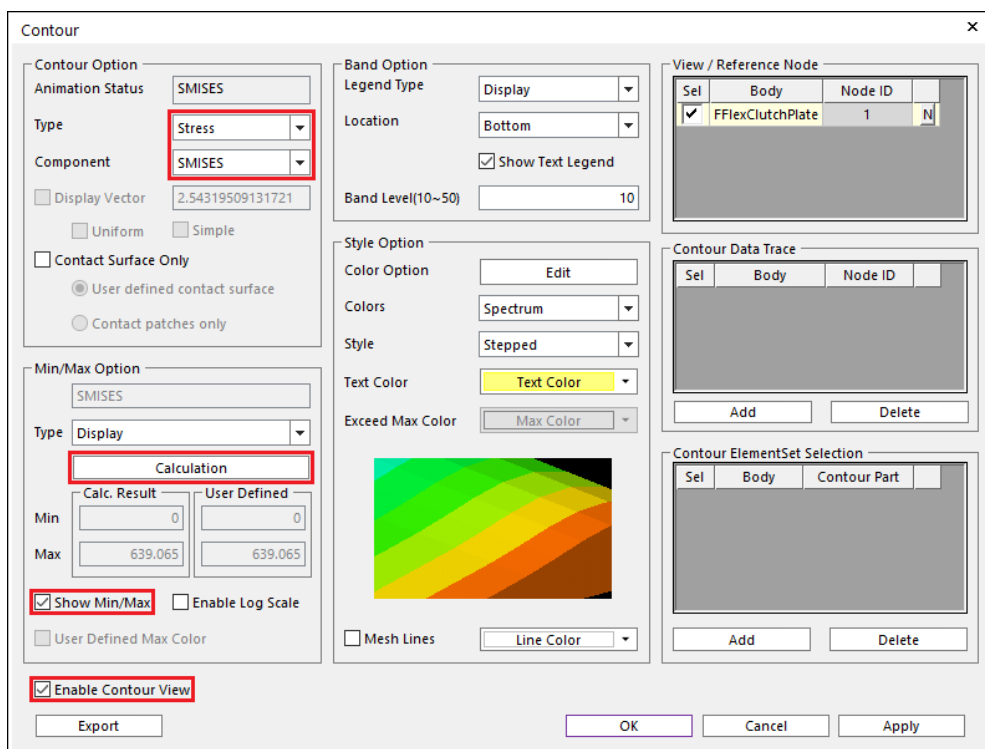


1. 在 **Flexible** 标签的 **FFlex** 组中，点击 **Contour**。
2. 在对话框的底部，如右图所示，选择 **Enable Contour View**。
3. 在 **Contour Option** 区，将 **Type** 设为 **Stress**。
4. 在列表底部，点击 **SMISES**。
5. 点击 **Calculation**。

这会计算出仿真中的最小和最大应力。

6. 点击 **Show Min/Max** 旁边的复选框。
7. 点击 **OK**。

现在，已经运行完仿真并开启云图显示，可以播放动画了。



查看动画结果

播放动画：

- 在 **Analysis** 标签的 **Animation Control** 组中，点击 **Play/Pause**。

动画显示出驱动器开始旋转，并与离合器片接触。随着离合器片和驱动器转速加快，离合器片向外伸展并与负载接触。在 0.03 秒末，负载随着离合器片一起旋转，但速度不同。

动画结束时：

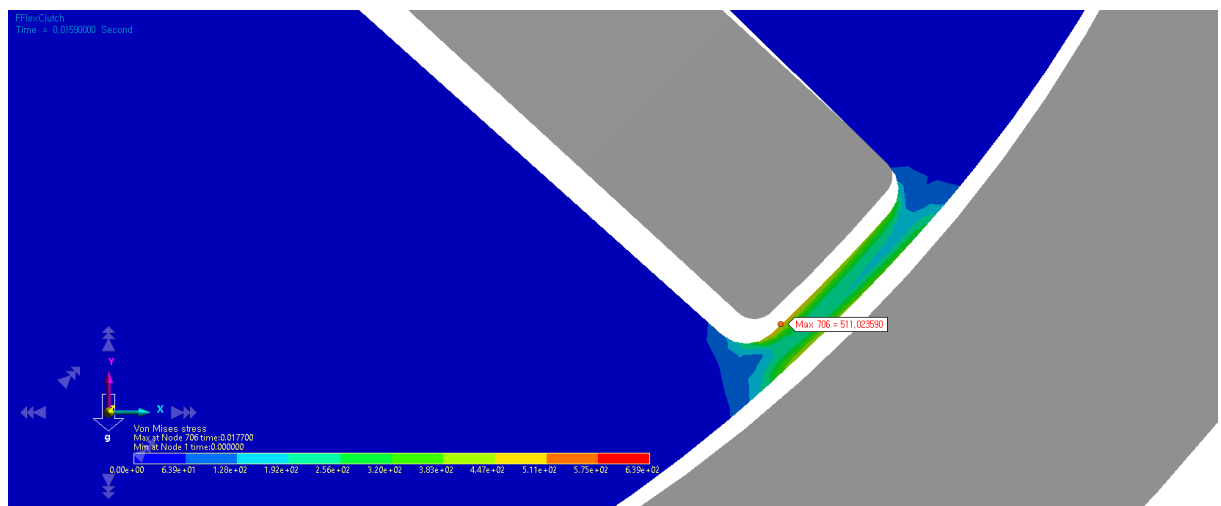
- 检查应力最大的区域在哪里。

如预测的一样，在弯曲点。

RecurDyn 也显示哪个弯曲点的应力最大。

- 放大离合器片的这个部分，并在 **Wireframe** 模式下查看。

应该如下图所示。



RecurDyn 会显示最大应力点的节点编号和应力。在仿真中间，最大应力为 $504.750\text{N}/\text{mm}^2$ ，在节点 706 出现。

注意到什么之前没有预期过的结果吗？虽然离合器的结构是对称的，仿真结束时离合器片的变形却不对称。为了检测其原因，调整云图的比例和外表如下。

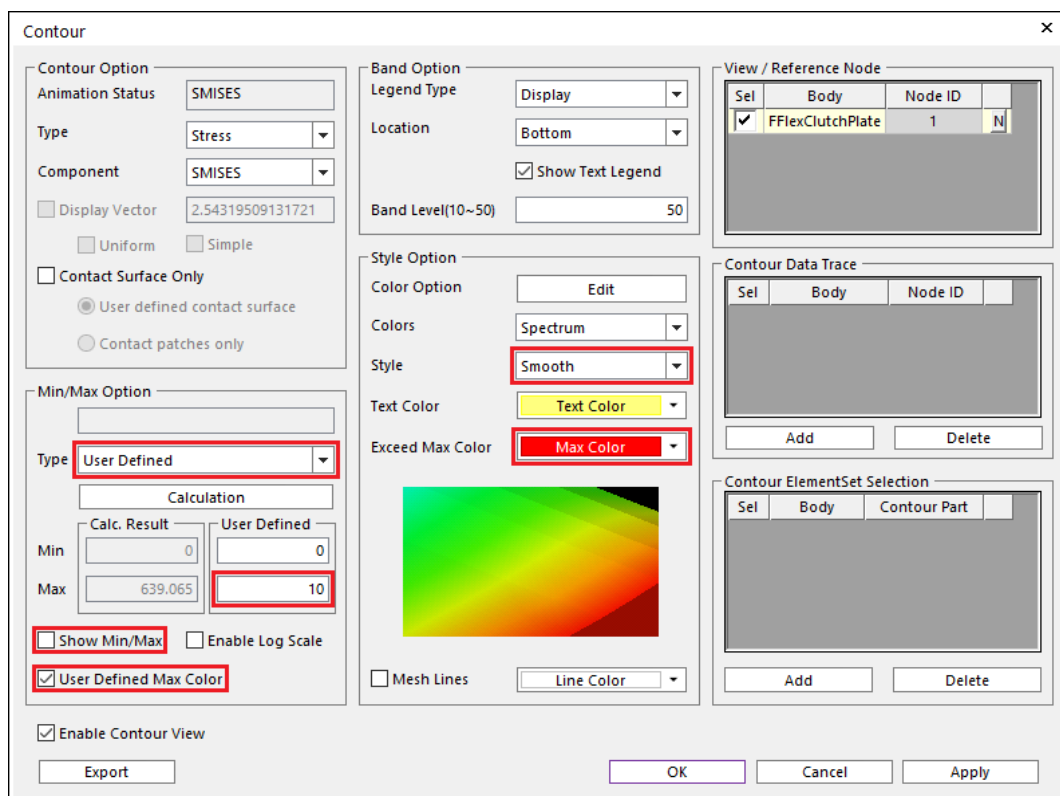
调整云图显示:

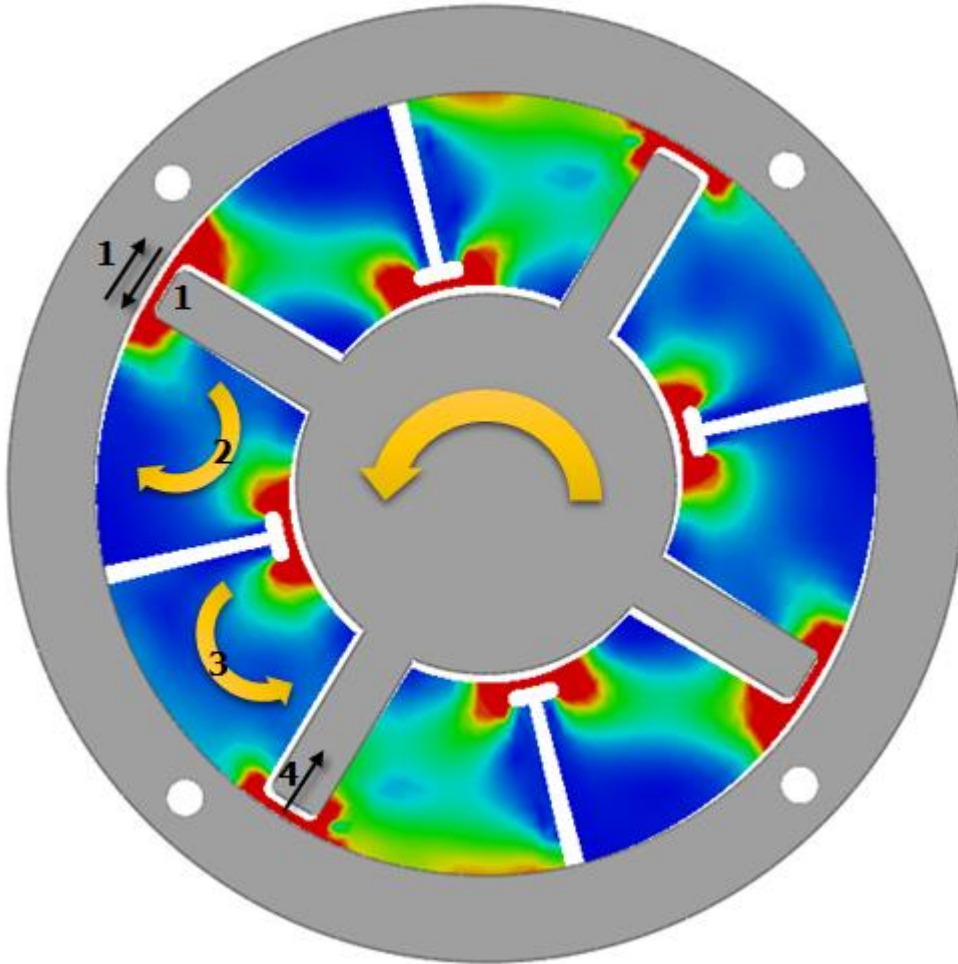


1. 在 **Flexible** 标签的 **FFlex** 组中, 点击 **Contour**。
2. 在 **Min/Max Option** 下面, 将 **Type** 改为 **User Defined**。
3. 将 **Max** 设为 10。
4. 取消 **Show Min/Max** 选项的勾选。
5. 在 **Style Option** 下, 将 **Style** 设为 **Smooth**。
6. 勾选 **User Defined Max Color** 选项。
7. 将 **Exceed Max Color** 设为红色。
8. 点击 **OK**。
9. 再次播放动画, 并观察结果。

在上述摩擦设置条件下, 该设置能够很好的显示不稳定性和转向非对称模式的倾向。

在动画的某些时刻, 可以看到如下结果。





非对称行为的一个原因解释如下。

离合器驱动器在离合器片左侧部分上的力(1)与离合器片和负载环之间的摩擦，产生了离合器片上的顺时针扭矩(2)。这个扭矩被传递到相邻的下面部分，成为逆时针扭矩(3)。这个扭矩反过来削弱了左下侧(4)点的受力大小，从而造成了非对称。相同的连锁反应也在离合器片的另一侧发生。

可以通过观察云图，可以获得应力在离合器片不同区域的变化情况。

绘制仿真结果

下面，可以用 **RecurDyn** 的绘图功能，将结果变得更可视化。需要掌握在 **RecurDyn** 中绘图的基本知识。如果需要回顾这些方法，参考 **3D Crank-Slider** 教程。

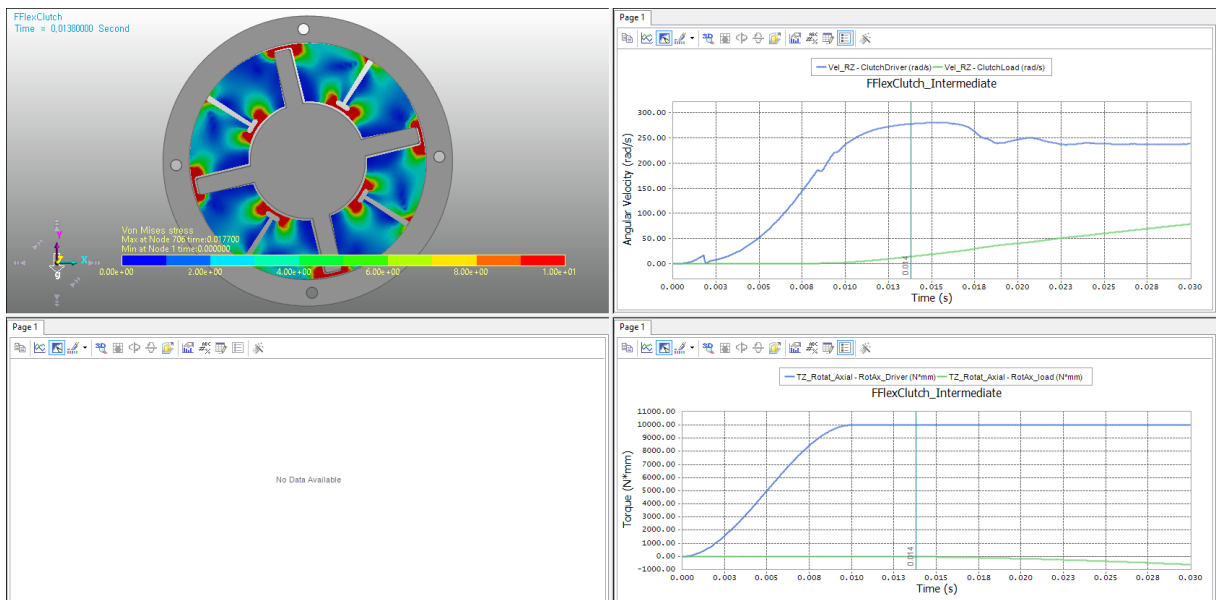
首先，实时地将转速和扭矩的图与动画进行对比。

将转速和扭矩的图与动画进行对比：



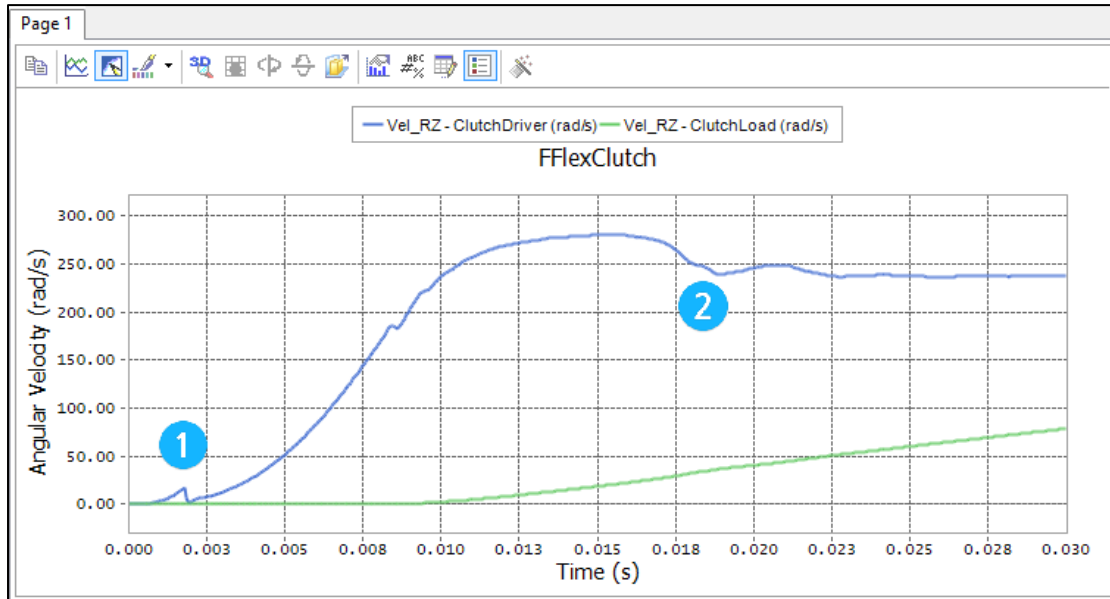
1. 在 **Analysis** 标签的 **Plot** 组中，点击 **Plot Result**。
2. 在 **Home** 标签的 **View** 组中，点击 **Show All Windows**。
3. 在左上角的窗口中，点击 **Tool** 标签下 **Animation** 组中的 **Load Animation**。
4. 在右上角的窗口，绘制离合器驱动器和负载的转速：
 - FFlexClutch → Bodies → ClutchDriver → Vel_RZ
 - FFlexClutch → Bodies → ClutchLoad → Vel_RZ
5. 在右下角的窗口中，绘制应用到离合器驱动的扭矩和负载：
 - FFlexClutch → Force → Rotational Single (Axial) Force → RotAx_driver → TZ_Rotat_Axial
 - FFlexClutch → Force → Rotational Single (Axial) Force → RotAx_load → TZ_Rotat_Axial

绘图窗口会弹出如下图所示。



6. 播放动画。

观察下图，明显两个速度可能会在未来某个时刻交汇。在点 1 和 2 发生了什么重要事件？



答案：(1)由于离合器驱动器和离合器片之间存在间隙，当离合器驱动器与离合器片接触时就会产生事件 1，以及(2)离合器片发生非对称变形。

下面将绘制驱动臂和离合器片与负载间接触所产生的接触力，注意接触 1 到 8 是驱动器接触，而接触 9 到 12 是离合器片与负载间的接触。

绘制接触力:

1. 在新的绘图窗口中，绘制在仿真过程中经历接触的四个驱动臂接触力。

绘制接触 2, 4, 6 和 8 (FFlexClutch→Contact→Flexible surface ... → FSurfaceToSurface2 →FM_CONTACT_BASE 等等)。

2. 在另一个绘图窗口中，绘制四个离合器片与负载间的接触力。

绘制接触 9 到 12 (FFlexClutch → Contact → Flexible surface ... →FSurfaceToSurface9→FM_CONTACT_BASE 等等)。

绘图如下所示。



这些图很有趣，但是如果减少数据的噪音的话会更容易理解。现在将对数据施加一个低通滤波器，滤掉 600 Hz 以下的频率。

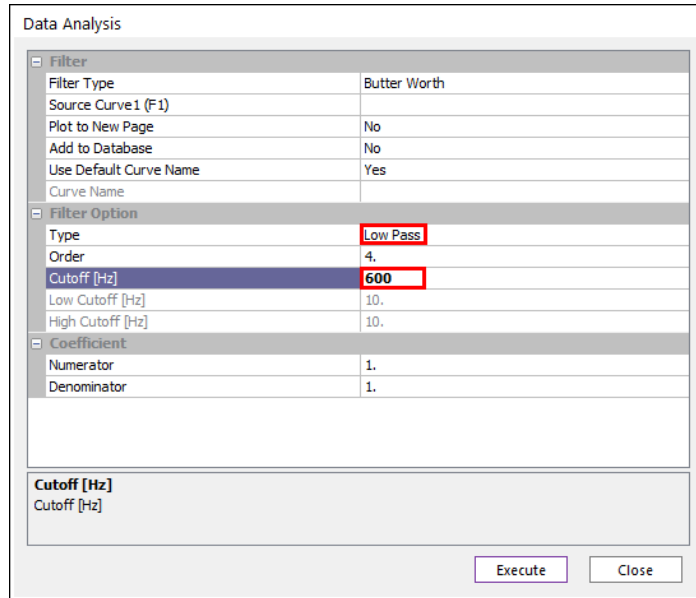
注意:

FM_CONTACT_BASE 绘图选项绘制总的接触合力。这也是为什么上图中的单位是力，而不是力/面积。

对接触力数据进行滤波：



1. 在 **Tool** 标签的 **Analysis** 组中，选择 **Filter**。
2. 后续步骤参考下图。

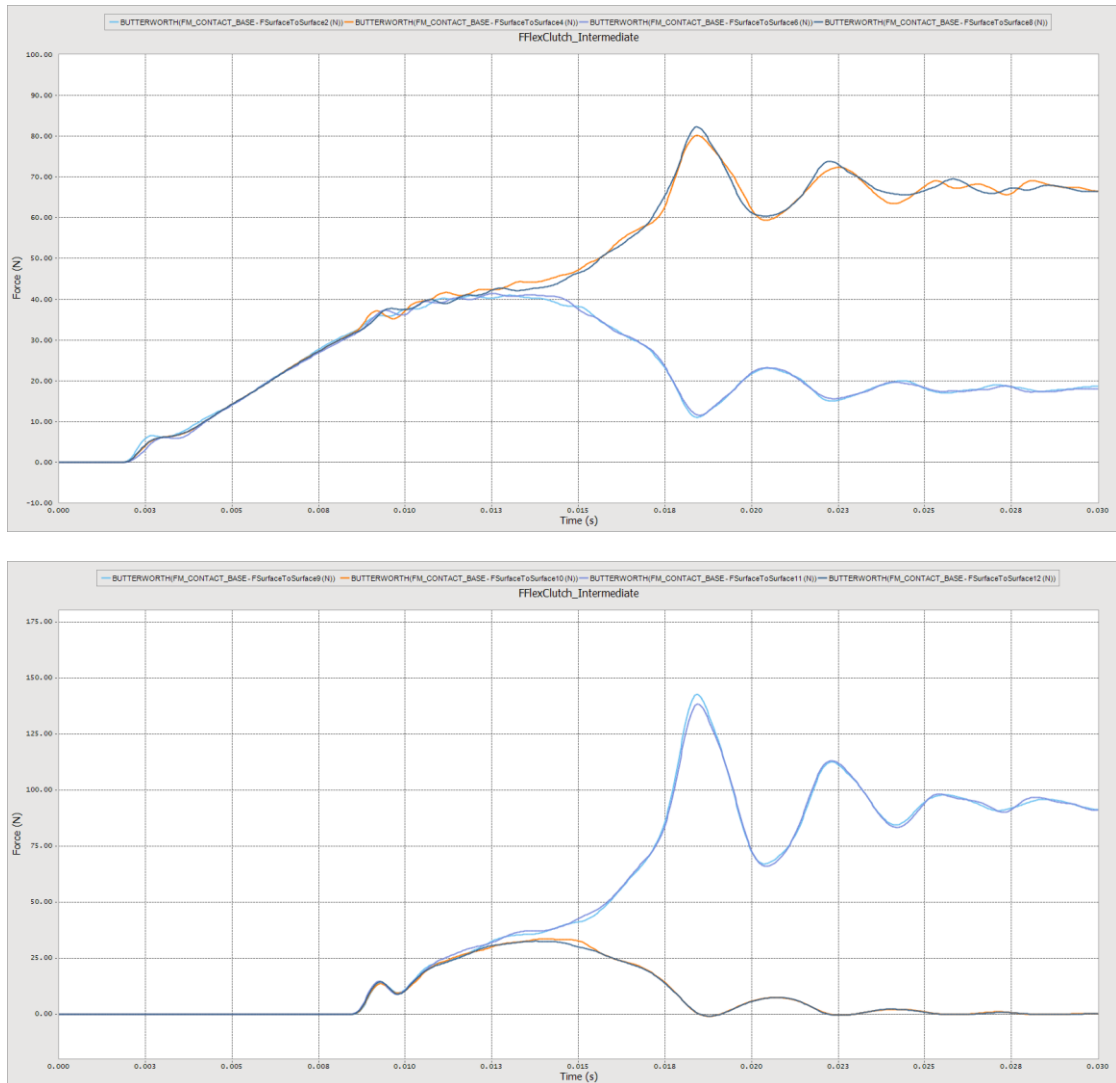


3. 将 **Type** 改为 **Low Pass** (在空白处点击，开启下拉菜单，并在下拉菜单中选择)。
4. 将 **Cutoff (Hz)** 设为 600。
5. 点击 **Execute**。
6. 通过在空白处激活下拉菜单，将 **Curve** 设为 1: FM_CONTACT_BASE – FsurfaceToSurface2 (N)。
7. 点击 **Execute**。
8. 对另外三条曲线重复上述两个步骤。
9. 点击 **Close**。

完成设置滤波器后，注意到滤波器造成了轻微的时间滞后。

10. 清空绘图，删除未过滤的曲线，并改变新图的颜色，以使每条线更明显。
11. 绘制另一个接触力图，重复上述步骤。

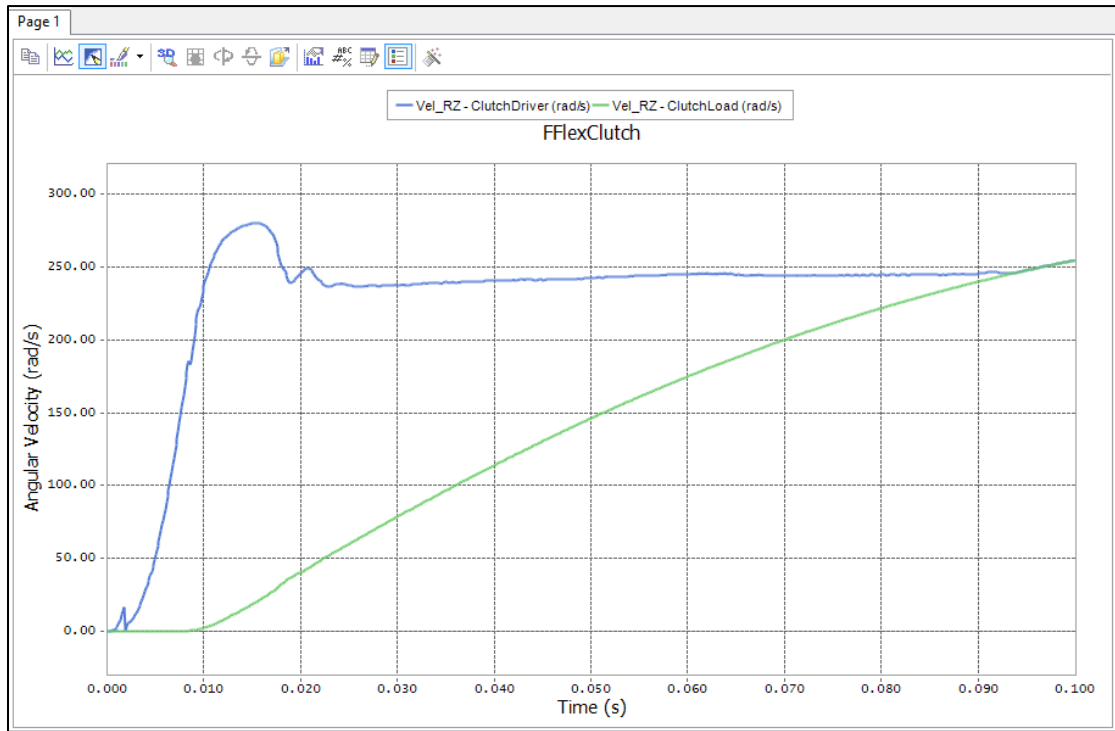
图表会显示如上图所示。



现在，图更容易理解了。观察驱动臂的接触，直到离合器片与负载相接触，四个接触都经历了相似的力。这时，接触 2 和接触 6，与接触 4 和 8 以相反的方向振荡，最终接触 4 和 8 保持了较高的接触力。这里的原理是，接触 4 和 8 位于最后与驱动臂接触更多的离合器片部位，因此传递了更多扭矩。有趣的是，接触 2/6 与接触 4/8 的差别在约 0.010 秒时出现，有时在离合器片出现非对称变形 (~0.016 秒) 之前。

观察离合器片与负载的接触，接触 9 和 11 很相似，10 和 12 很相似。9/11 组和 10/12 组最初以相同的方向振荡，但随着时间流逝，振荡的方向变的相反，最终 9/11 组呈现出更高的接触力。这些接触在开始时位于离合器片的顶部和底部，也是最后与负载接触最多的接触。

最后，可能好奇离合器需要多久才会啮合，如果将这个仿真运行更久，就会得到问题的答案，大约为 0.095 秒。





创建剩余的片集

本附录延续了 20 页上的小节创建片集，解释如何创建表面接触所需的剩余 8 个片集。这将为提供更多的创建片集的经验。

任务目标

将练习创建片集。



预计完成的时间

25 分钟

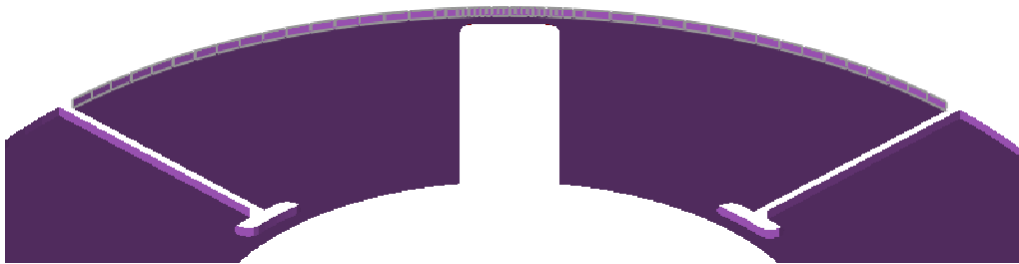
创建剩余的片集

创建剩余的片集：

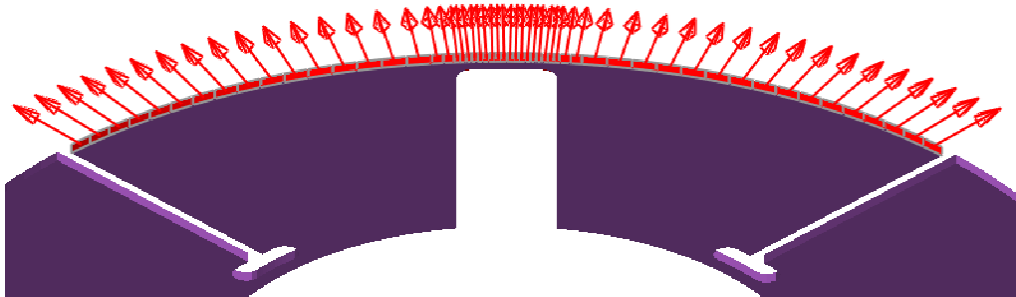
1. 采用创建第一个片集的相同方法(**Add/Remove(Continuous)**)，根据本附录开始时的接触分布图，来选择离合器片的表面。

随着的操作， **RecurDyn** 会自动命名片集 **SetPatch2**, **SetPatch3**, ..., **SetPatch8**。

2. 为离合器片的外表面重复相同步骤，从上面的表面开始，根据接触分布图围绕离合器片，顺时针进行。对每个表面都选择下图所示的元素，浅灰色高亮显示：



法线应该都从离合器负载指向外，如下图所示：



3. 点击 **Exit** 按钮，返回到根模型。
4. 继续在 23 页的创建面表面这一节。

感谢参与本教程学习！