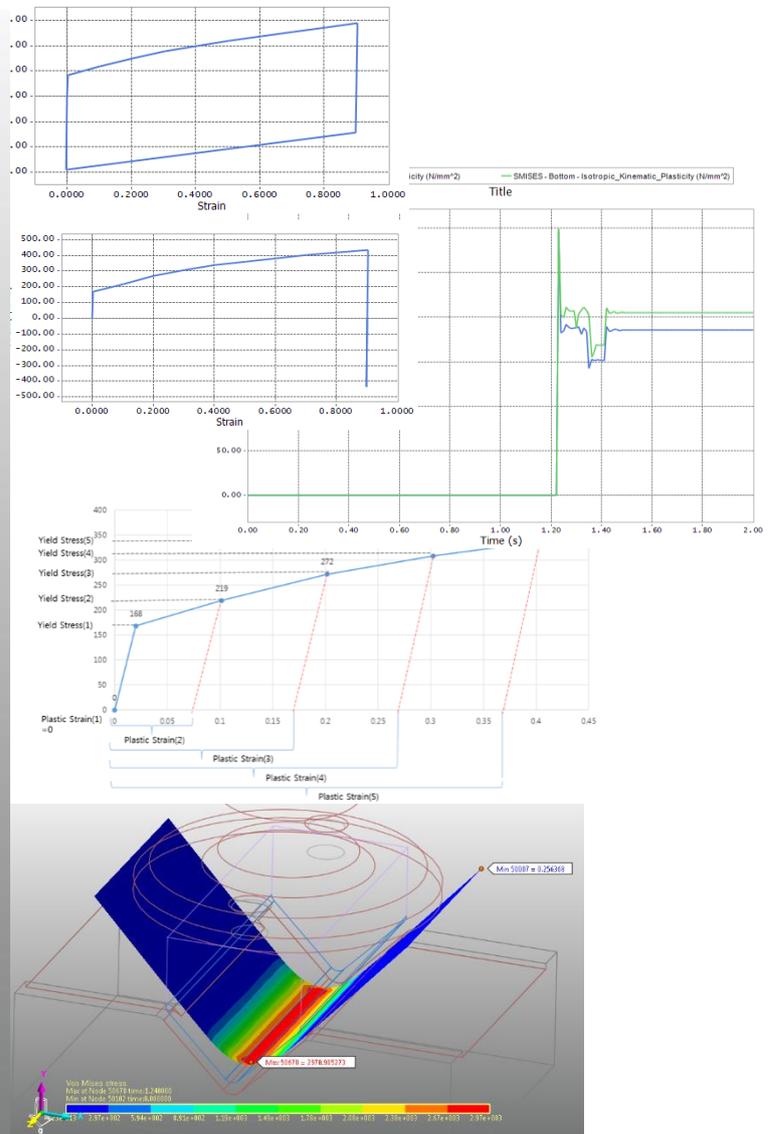
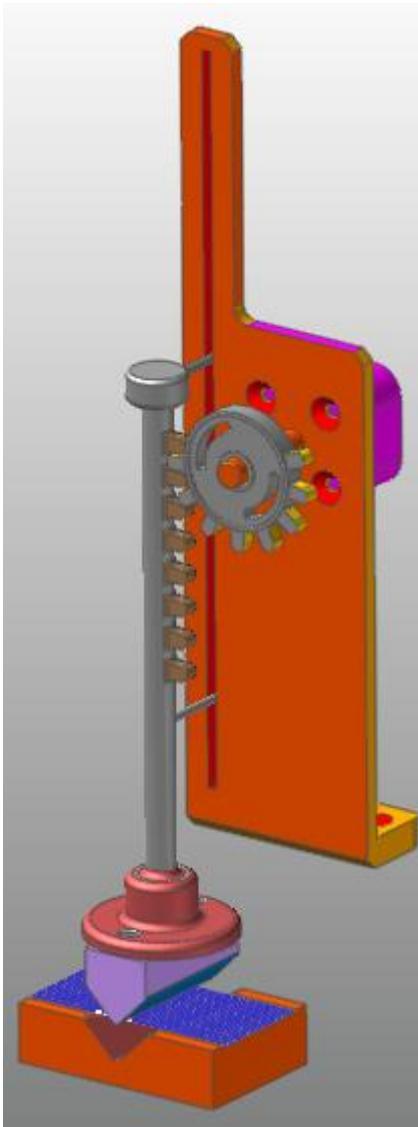


塑性弯曲机教程



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*[™]/MIT2D, *RecurDyn*[™]/MIT3D, *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 trademark of UGS Corp. SolidWorks is a registered trademark of SolidWorks Corp. AutoCAD is a registered trademark of Autodesk, Inc.

CADAM and CATIA are registered trademark of Dassault Systems. FLEX/m is a registered trademark of GLOBEtrouter 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

综述	5
任务目标	5
预备知识	6
任务	6
预计完成时间	6
打开初始模型	7
任务目标	7
预计完成时间	7
打开 Rdyn 模型	8
仿真初始的悬架模型	9
查看结果	9
生成 FFlex 体	10
任务目标	10
预计完成时间	10
创建 Box 几何	11
创建 Box 网格	12
进行塑性分析	16
任务目标	16
预计完成本任务的时间	16
进行动力学建模	17
进行塑性分析	21
进行塑性分析	23
任务目标	23
进行塑性建模(1)	24
进行塑性分析 (1)	26
进行塑性建模(2)	28
进行塑性分析 (2)	30
分析并回顾结果	32
任务目标	32
预计完成时间	32
分析塑性分析结果	33
供参考	36

Chapter

1

综述

弯曲机弯曲金属板，通过上下框架支撑金属板并对板施加压力，不同的弯曲框架可以将板弯曲成不同的角度和形状。

弯曲框架的形状决定了弯曲机对金属板变形的方式。弯曲机对金属板施加一个力，若力的大小超过了金属板屈服应力，金属板将发生永久变形（塑性变形）。因此，为了研究金属板的塑性特征，必须要对其进行塑性分析，而不是弹性分析。

进行塑性分析，必须在 **RecurDyn** 中建立柔性模型，并给予其塑性特征而不是弹性特征，并且仿真柔性模型的变形行为。

本教程学习如何对一个由柔性体组成的动力学模型设置塑性特征，并进行塑性分析。同时与弹性材料的分析结果进行对比，学习塑性分析的特征。

任务目标

本教程涵盖以下课题：

- 柔性体的弹性行为分析
- 进行塑性分析的要求
- 如何应用塑性变形特点进行塑性分析并且发现塑性分析的特征
- 如何对塑性分析的结果进行分析
- 弹性分析与塑性分析的区别

预备知识

本教程适用于那些已经完成了由 **RecurDyn** 提供的 **Basic** 和 **FFlex/RFlex** 教程的用户。如果没有完成这些教程，那么需要在学习本教程之前，完成上述教程。并且，本教程需要具备对有关动力学与有限单元法的基本理解。

任务

下表概述了本教程的任务及其所需要的时间。

任务	所需时间 (minutes)
打开初始模型	5
创建 FFlex Body	20
进行弹性分析	10
进行塑性分析	20
分析并观察结果	10
总计	65



预计完成时间

65 分钟

Chapter

2

打开初始模型

任务目标

打开初始模型，进行仿真，并观察弯曲机的行为。



预计完成时间

5分钟

打开 Rdyn 模型

运行 RecurDyn，并打开初始模型



1. 双击桌面上的 RecurDyn 图标，打开 RecurDyn。
2. 当弹出 Start RecurDyn 显示窗口时，关闭窗口。
3. 在 File 菜单中，点击 Open。
4. 进入 Plasticity 教程文件夹中，选择 Plasticity_Bending_Machine_Start.rdyn.（文件路径：
<Install Dir>\Help\Tutorial\Flexible\FFlex\Plasticity_Bending_Machine）。
5. 点击 Open，打开模型，如下图所示。

下面揭示了这个模型的结构：

右边的图是一种弯曲机，马达转动齿轮，提高了传输效率。当传送装置达到齿轮最后的轮齿时，传递装置会用冲压板撞击金属板（放置在模具上）。

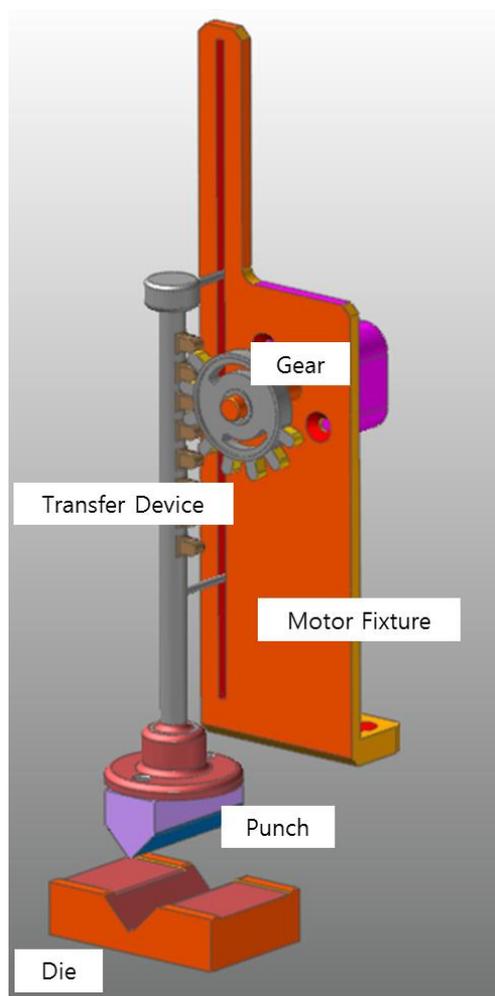
右侧的图片不包括金属板。本教程学习如何用柔性体对金属板进行建模。从而，可以在模具上对金属板添加塑性属性。下落的冲击机和传递装置的能量会作用在金属板上，金属板会产生塑性变形。

当冲击机撞击到金属板上，金属板会产生一个由模具形状决定的变形。齿轮的轮齿紧接着会与传递装置上的轮齿啮合，再一次提升冲击机。

本教程中的模型包括模板，冲击机，传动装置，电机和齿轮。之后的教程对金属板进行建模。

保存模型：

1. 在 File 菜单中，点击 Save As。（如果模型在教程路径中，将无法进行仿真，所以必须将模型保存在不同路径中。）



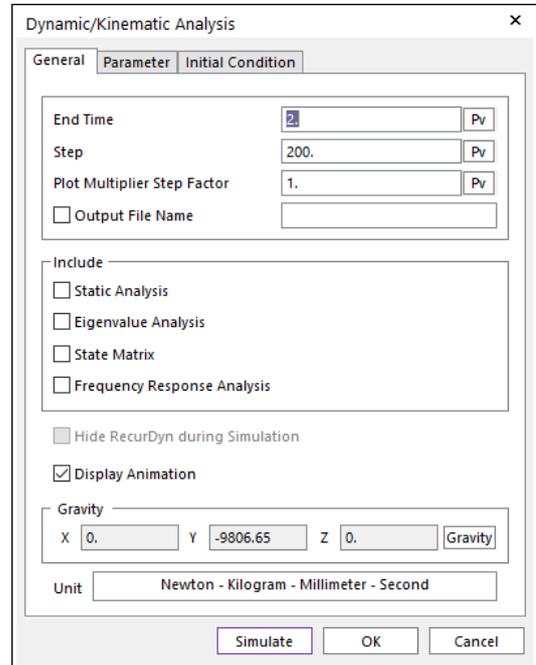
仿真初始的悬架模型

本小节学习如何利用模型进行初始仿真，以便理解模型动力学特性。

开始初始仿真：



1. 在 **Analysis** 标签的 **Simulation Type** 中，点击 **Dyn/Kin** 图标。
弹出 **Dynamic/Kinematic Analysis** 对话框。
2. 按照以下的数据设置结束时间和步长：
 - **End Time** : 2
 - **Step** : 200
 - **Plot Multiplier Step Factor** : 1
3. 点击 **Simulate**。



查看结果

查看结果:



在 **Analysis** 标签的 **Animation Control** 中，点击 **Play** 按钮。

在工作平面中，马达通过转动齿轮来带动冲压机，在传送装置通过齿轮最后的轮齿时，冲压机下落并撞击模板。紧接着齿轮会带动传送装置上升，如此往复。

Chapter

3

生成FFlex 体

如上所述，**RecurDyn** 模型中暂不包括需要进行塑性分析的金属板。因此，需要建造一个金属板，首先必须利用 **RecurDyn** 提供的建模工具，建立一个刚性体模型。然后，使用 **Mesher**，将刚性体结构转化成柔性体结构。不仅需要定义金属板和模板的关键接触点，同时需要定义金属板和冲压机的关键接触点。

任务目标

本任务说明如何利用 **RecurDyn FFlex (Full Flex)**提供的 **Mesher**，将刚刚建立的刚性体结构转化成柔性体结构。



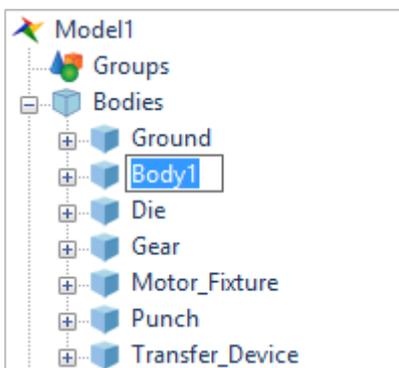
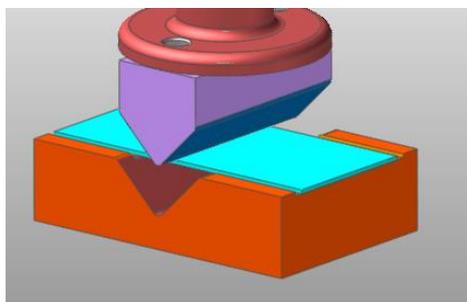
预计完成时间

20 分钟

创建 Box 几何体



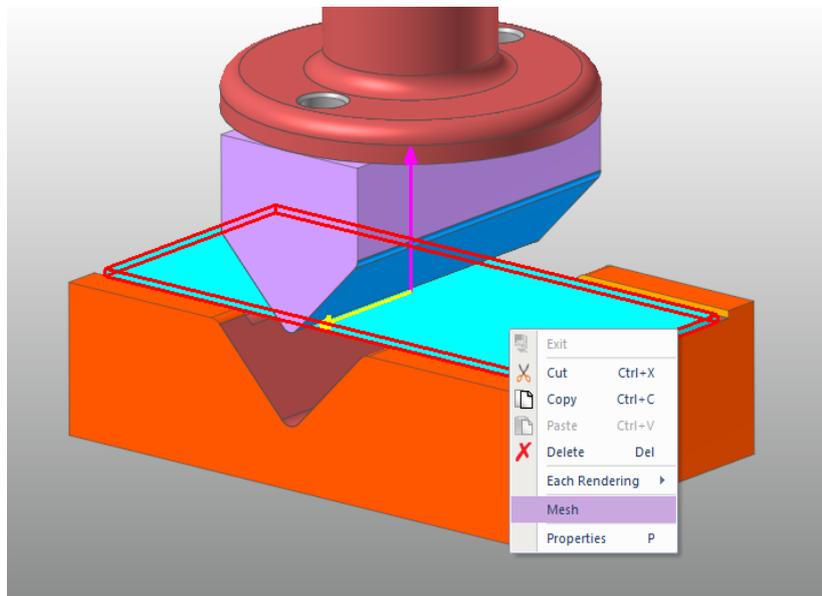
1. 在 **Professional** 中的 **Body** 组中，点击 **Box** 图标。
2. 在 **Modeling Options** 下拉菜单中，选择 **Point, Point**，然后在 **Command Input** 中输入下列数值。
-75, 0, 35（在输入数值后，点击确定）
75, -2, -35（在输入数值后，点击确定）
3. 在输入数据之后，会出现 **box** 几何模型（如下图所示），在 **Database** 方框中，将 **Body1** 的名称改为 **Plate**。



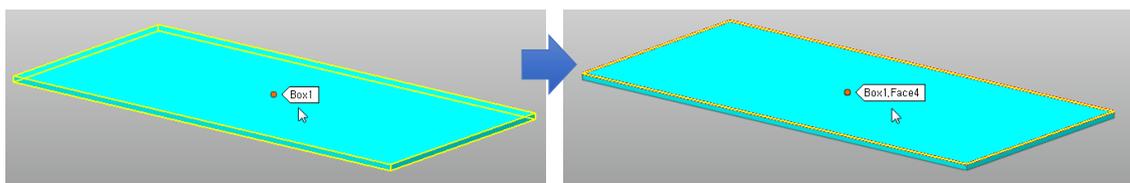
创建 Box 网格

1. 在 **Assembly** 模式，点击 **Plate Body**。然后，右键点击金属板，会出现上下文菜单，然后点击 **Mesh**。

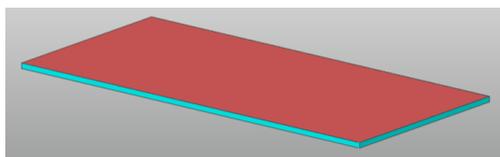
Mesh 模式只显示 **plate body**，正如下图所示

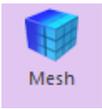


2. 在 **Surface** 组中的 **Geometry** 标签中，选择 **Face**。
3. 选择 **Box1**，打开 **Facesurf Operation** 对话框。在已经打开的 **FaceSurf Operation** 对话框中，选择 **box** 顶部的 **Box1.Face4**。

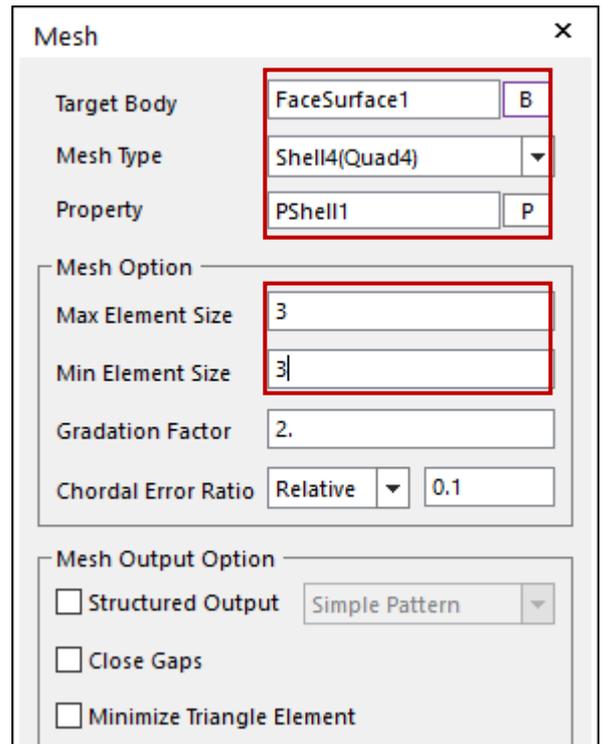


4. 当弹出 **Face4** 对话框时（如下图所示），点击 **OK** 按钮，创建 **FaceSurface1**。





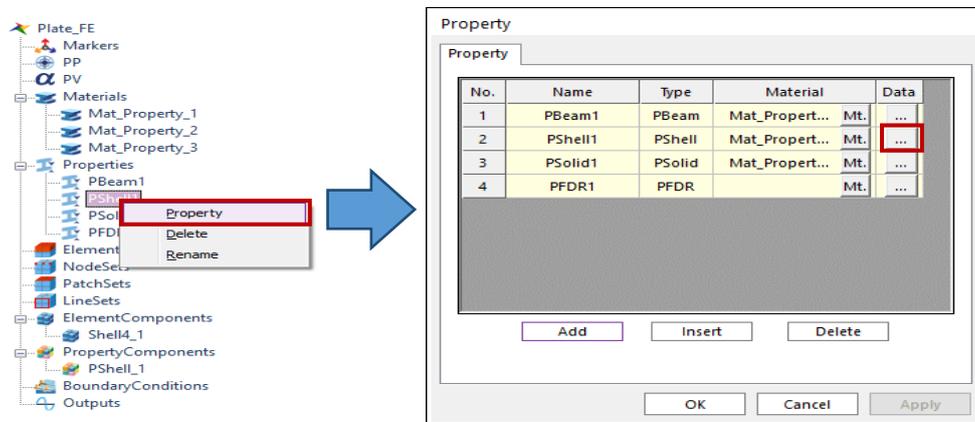
5. 在 **Mesher** 标签中, 点击 **Mesh** 图标, 打开 **Mesh** 对话框。



6. 在 **Mesh** 对话窗口中, 进行如下操作:

- 在 **Target Body** 下拉菜单中, 选择 **FaceSurface1**。
- 在 **Mesh Type** 下拉菜单中, 选择 **Shell4 (Quad4)**。
- 在 **Mesh Option** 模块中, 同时设置 **Max Element Size** 和 **Min Element Size** 为 3。
- 点击 **Mesh** 按钮。
- 点击 **Close** 按钮。

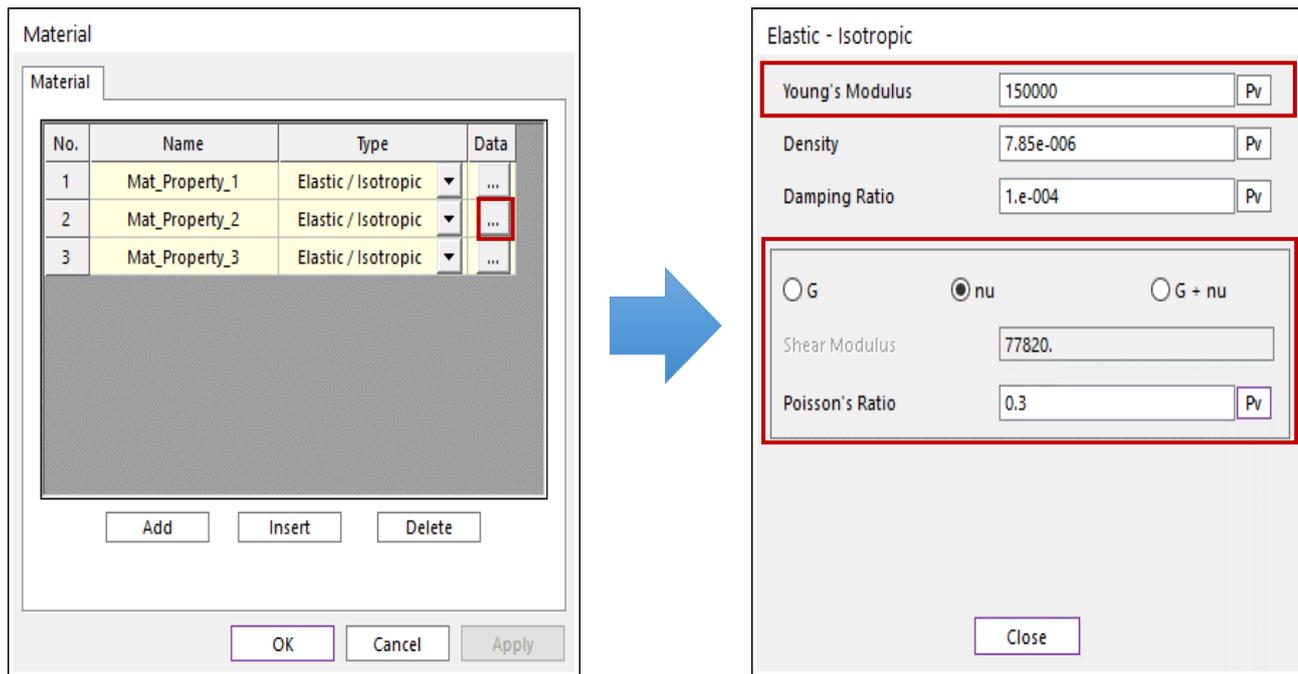
7. 在 **Datebase** 框中, 在刚刚建立的 **Plate_FE** 下方, 右键点击 **PShell**, 然后在上下文菜单中点击 **Property**, 打开 **Property** 对话框。



8. 在 **Property** 对话框中, 点击在 2 号 **PShell1** 右侧的...按钮。当弹出 **Property Shell** 对话框时, 将 **Thickness** 从 10 改成 0.5, 然后点击 **Close** 按钮。

9. 在 **Property** 对话框中, 点击在 2 号 **PShell1** 右侧的 **Mt.**按钮。弹出 **Material** 对话框 (如下面所示)。

- 在 **Material** 对话框中, 点击在 2 号右侧的...按钮, 改变以下设置:



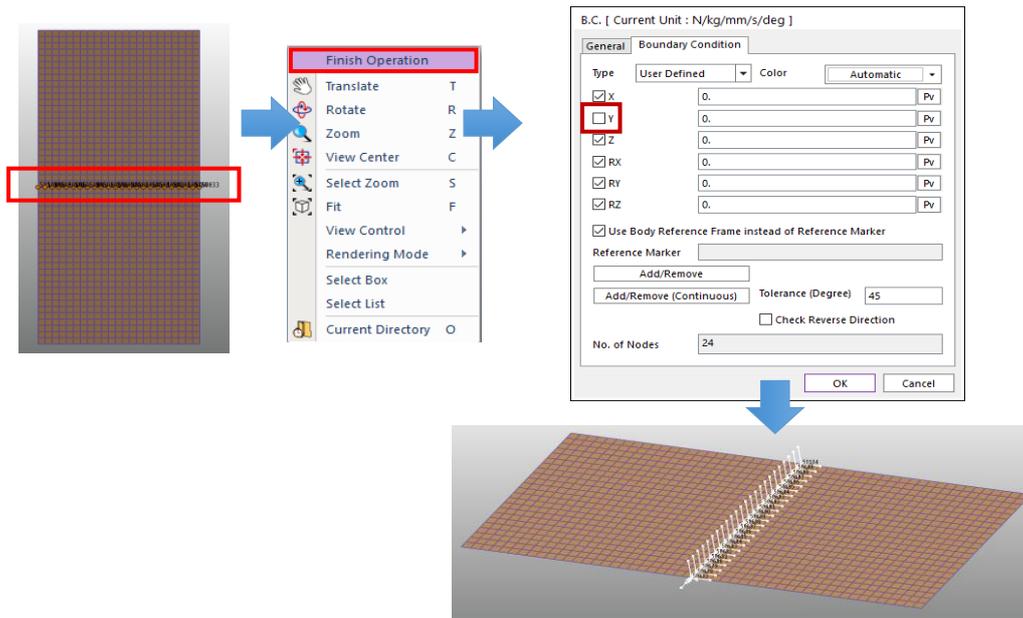
- 将 Young's Modulus 的数值，从 200000 改成 150000。
- 选择 nu，然后改变 Poisson's Ratio 为 0.3，然后点击 Close 按钮。
- 点击 OK 按钮，关闭所有打开的对话框。



10. 在 FFlex Edit 组中，点击 B.C 图标。当弹出 B.C.Current Unit 对话框时，点击 Add/Remove 按钮。

- 同时按住 Shift 和 Z，将工作平面改成 ZX 平面。然后，点击并拖拽鼠标以选择工作平面中心的结点。
- 选择施加 B.C.的结点之后，右键点击屏幕然后选择上下文菜单中的 Finish Operation（供参考，最右边的结点的 ID 是 50104）。
- 当 B.C.对话框再次出现时，清除 Y 复选框（消除 Y 方向的约束），正如下面显示的。点击 OK 按钮，屏幕中会显示刚才所创建的新的 boundary conditions。

11. 使用以下方法之一，返回高一级的菜单：



- 右键点击工作界面，会显示上下文菜单，然后点击 **Exit**。
- 在 **Mesher** 组中的 **Mesher** 标签中，点击 **Exit** 图标。

小贴士： 为加快分析速度，在设置 **FFlex Body** 的边界条件时，移除 **Y** 方向的约束（也就是冲压机运动的方向），但是在金属板的中心部分依然会保留其余的约束，因为这里预计是不会发生变形的。

Chapter

4

进行塑性分析

任务目标

本章学习到如何进行动力学建模和对 **FFlex Body** 进行分析，并且对分析的结果进行检验。



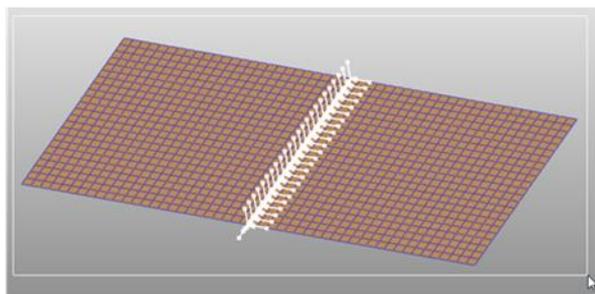
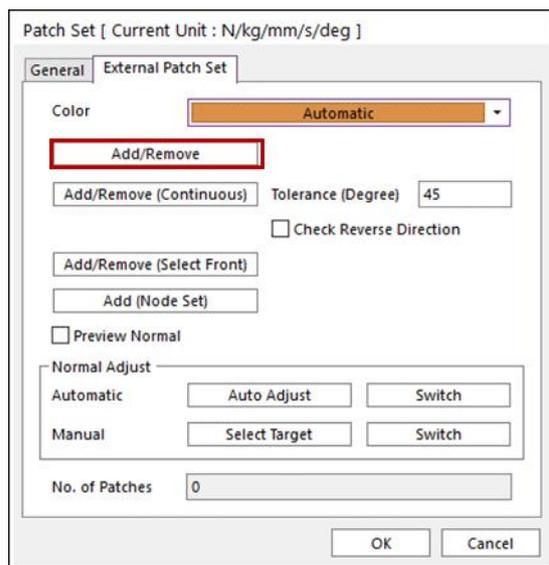
预计完成本任务的时间

10 分钟

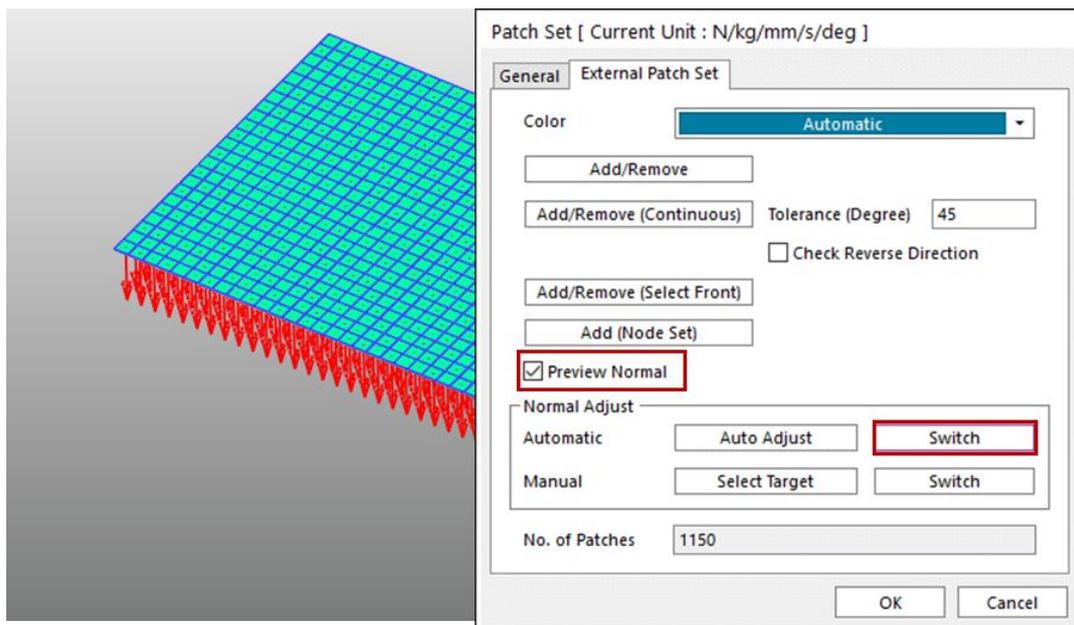
进行力学建模

创建片集

1. 双击 **Plate_FE**，进入 **Body Edit** 模式。
2. 在 **FFlex Edit** 标签的 **Set** 组中，点击 **Patch Set** 图标。
3. 当弹出 **Patch Set** 对话框时，点击 **Add/Remove** 按钮。然后，在工作平面中，用鼠标选择并对整个结构体拖放。



4. 右键点击工作平面，会显示下拉菜单，然后点击 **Finish Operation**。
5. 在 **Patch Set** 对话框中，点击 **OK** 按钮。
 - 确认 **SetPatch1** 出现在数据库方框。
6. 再一次点击 **Patch Set** 图标，然后重复步骤 3 和 4，建立另一个片集。在 **Patch Set** 对话框中，选择 **Preview Normal** 复选框，如下所示。然后在 **Normal Adjust** 框的 **Automatic** 行中，点击 **Switch** 按钮。（这一步骤创建了两个片集，定义在壳单元两侧的接触。）

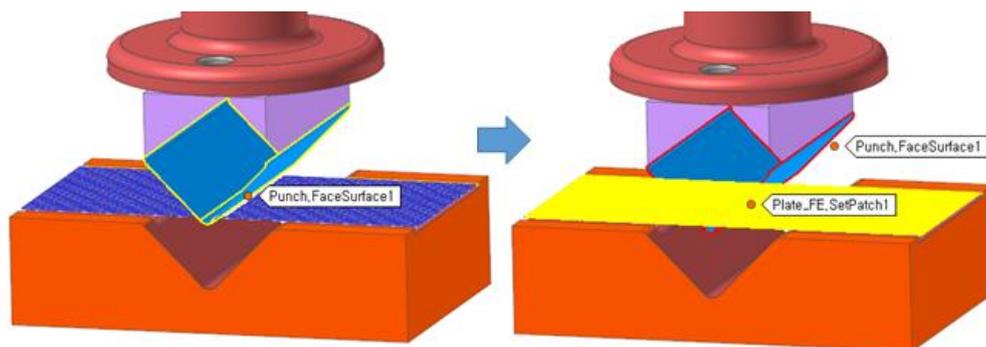


7. 在 **Patch Set** 对话框中，点击 **OK** 按钮。
 - 确认 **SetPatch2** 出现在 **Datebase** 框中。
8. 在 **FFlex Edit** 标签的 **Exit** 组中，点击 **Exit** 图标，回到更高级的菜单。

创建接触:

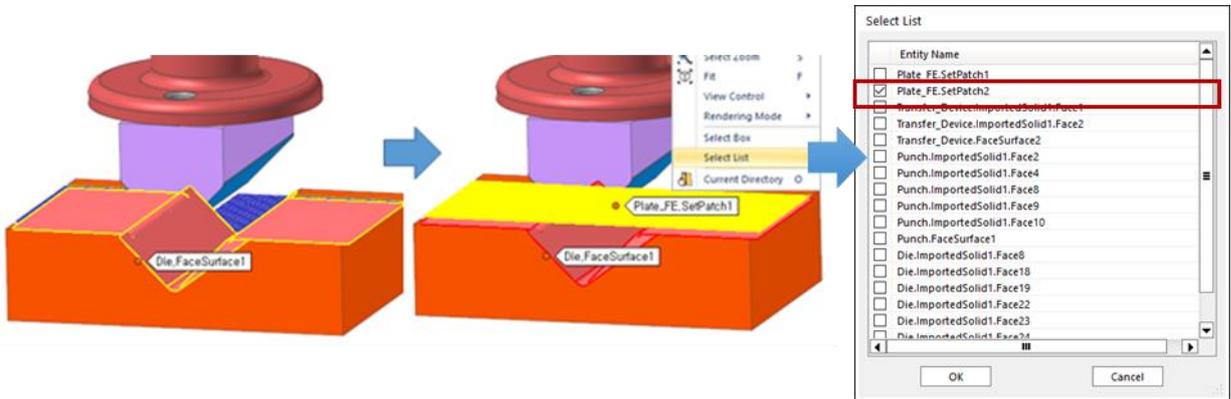


1. 在 **Professional** 标签的 **Contact** 组中，点击 **Geo Surface Contact** 图标。在 **Modeling Option** 下拉菜单中，选择 **Surface (PatchSet)**，**Surface (PatchSet)**。
2. 选择 **Punch.FaceSurface1**，作为 **Geo** 面接触的 **base body**；**Plate_FE_SetPatch1**，作为 **action body**。确认 **GeoSurContact3** 在 **Datebase** 中已生成。

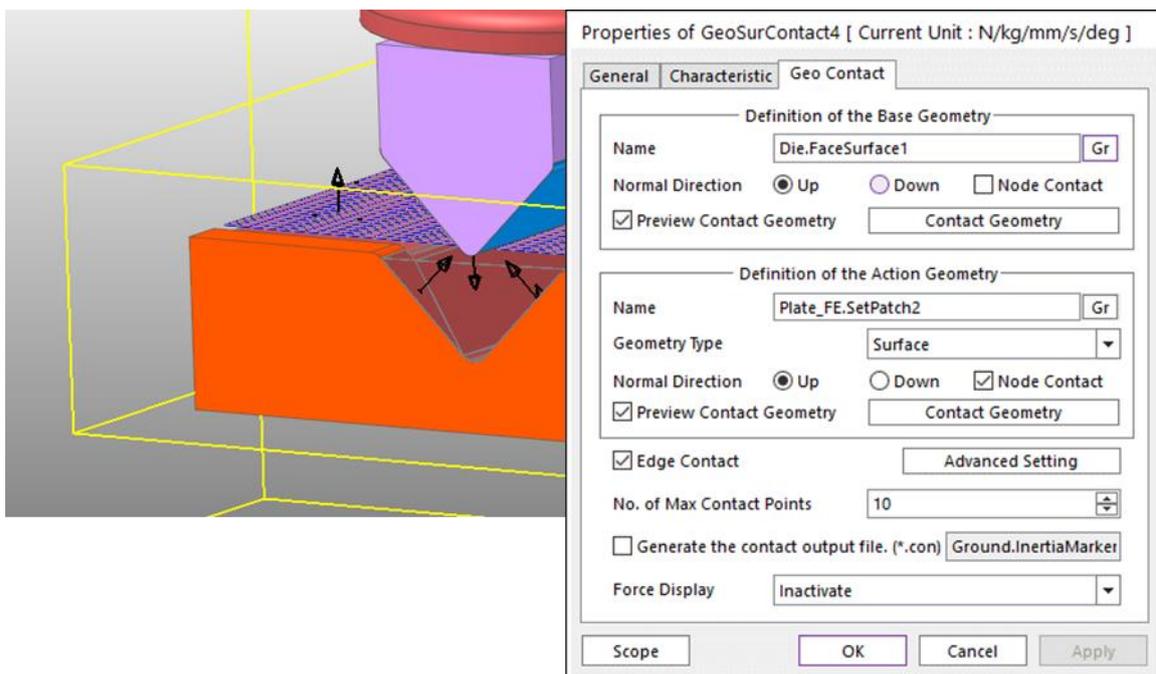


3. 再一次点击 **Geo Surface Contact** 图标。然后选择几何接触的 **base body** 和 **action body**，如图所示，创建 **Geo Surface Contact4**。
 - 对于 **base body**，选择 **Die.FaceSurface1**。

- 对于 **action body**，很难在工作框中选择 **Plate_FE.SetPatch2**。所以，右键点击屏幕会出现一个上下文菜单，点击 **Select List**。当弹出 **Select List** 对话框时，勾选 **Plate_FE.SetPatch2**。



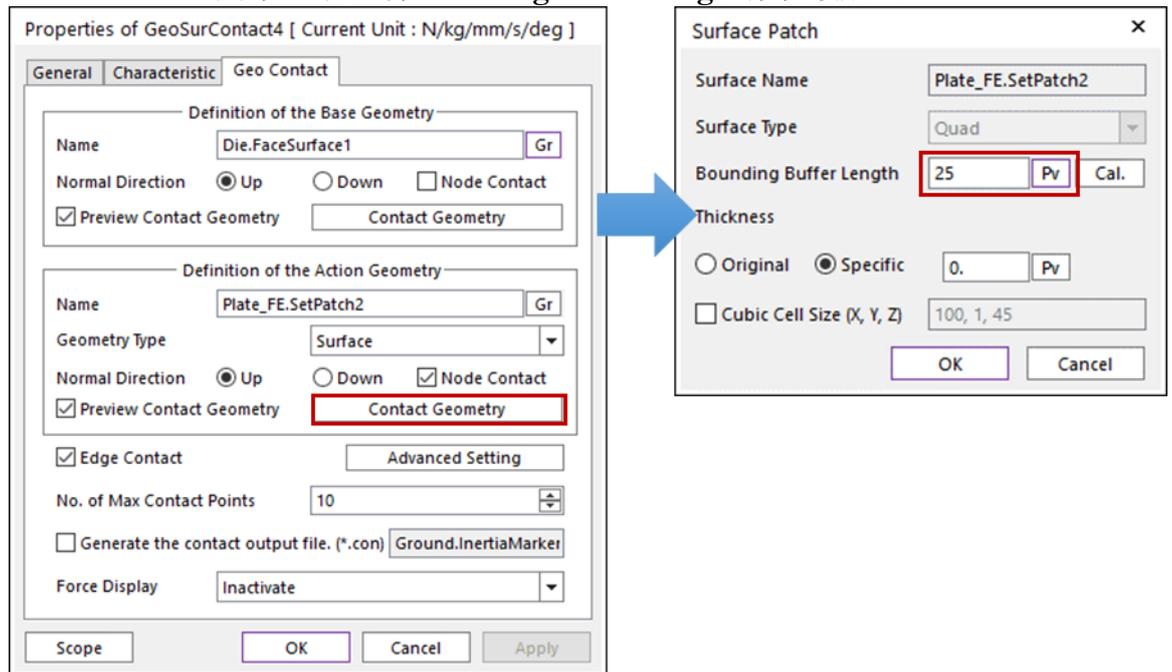
- 查看接触面是否设置正确，可右键点击 **GeoSurfaceContact4**，打开 **Property** 对话框。



- 作为 **action body**，**Plate_FE.SetPatch2** 的接触面的 **Normal Direction** 是 **UP**，按照下面的说明，改变选项：

-

- 在 **Definition of the Action Geometry** 框，点击 **Contact Geometry** 按钮。当 **Surface Patch** 对话框出现，将 **Bounding Buffer Length** 数值改成 25。



- 对 **GeoSurContact3** 进行相同的操作，但是将 **Normal Direction** 设置为 **UP**。只将 **Plate_FE.SetPatch1** 的 **Bounding Buffer Length** 改成 25。

进行塑性分析

本步骤学习如何对之前建立的 **FFlex** 体，以及所定义的接触进行塑性分析。

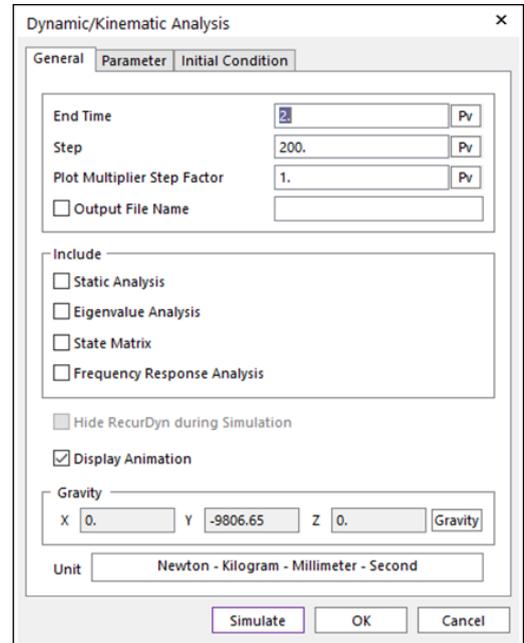
进行仿真：



1. 在 **Analysis** 标签的 **Simulation Type** 组中，点击 **Dyn/Kin** 图标。

弹出 **Dynamic/Kinematic Analysis** 对话框。

2. **End Time** 和 **Step**，设置如下：
 - **End Time** : 2
 - **Step** : 200
 - **Plot Multiplier Step Factor** : 1
3. 点击 **Simulate**。



查看结果：

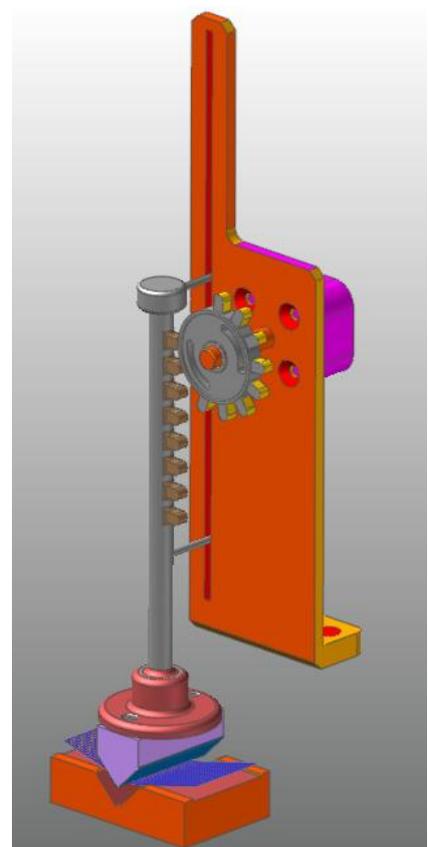
- ▶ 在 **Analysis** 标签中的 **Animation Control** 组中，点击 **Play** 按钮。

不同于在之前仿真中的传送装置中冲压机可以与模具直接接触，这里的仿真中的传送装置是不同的，因为 **Plate_FE** 柔性体与冲压机的接触和冲压机与模具的接触是不相同的。

当冲压机落下的时候，**Plate_FE** 柔性体就像一个弹簧，传送装置被向上反弹。这种现象不会发生在现实中。发生这种现象的原因是 **Plate_FE** 柔性体只有弹性，没有塑性。因此，尽管发生了一个比较大的变形，柔性体依然会回到原来的状态，将传送装置向上弹起。

因为弹性的作用，传送装置在没有齿轮的作用下上升了，而且必须在最后的轮齿作用之前一直停留在空中。

因此，想要真实地仿真金属盘的变形和传送装置的行为，必须要给柔性体施加塑性性质，并且进行塑性分析，而不是弹性分析。



检验云图结果:

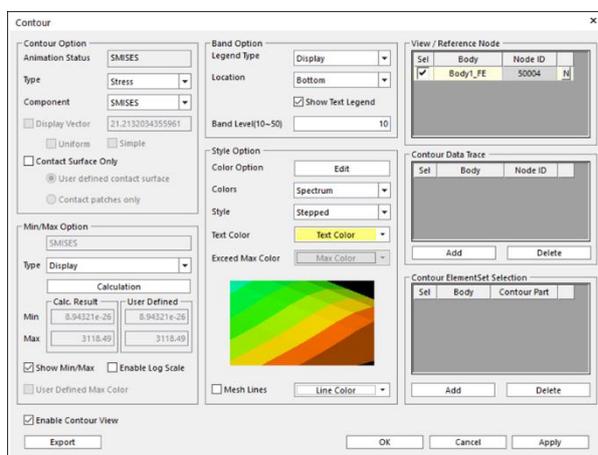


1. 在 **Flexible** 标签的 **FFlex** 组里, 点击 **Contour icon**。

弹出 **Contour** 对话框。

2. 在 **Contour** 对话框, 设置如下:

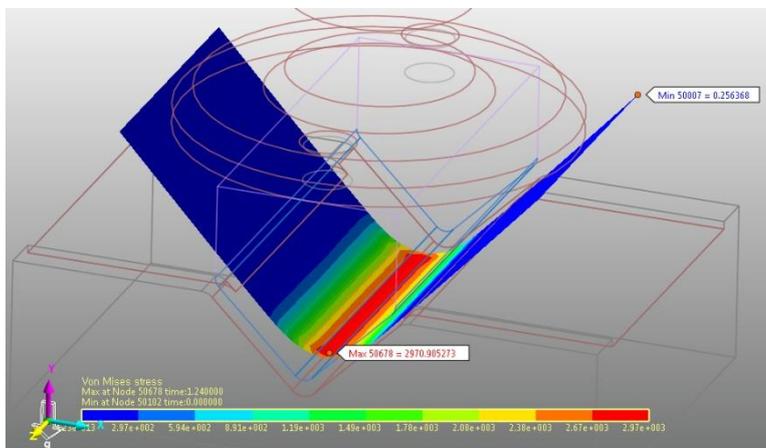
- 在对话框的中间, 点击 **Calculation** 按钮。
- 选择 **Show Min/Max** 复选框。
- 点击 **OK** 按钮, 查看结果。



3. 在 **Analysis** 标签的 **Animation Control** 组中, 点击 **Play** 按钮。



- 查看 **Plate_FE** 的云图结果, 如下所示, 在 **Toolbar** 中, 点击 **Wireframe** 图标, 然后播放动画。
- 在 1.24 秒, 可以看出最大的 **Von-Mises** 应力大约为 2970Mpa。



Chapter

5

进行塑性分析

任务目标

本章节学习如何对 **FFlex** 体添加塑性属性，并在进行塑性分析后检查结果。



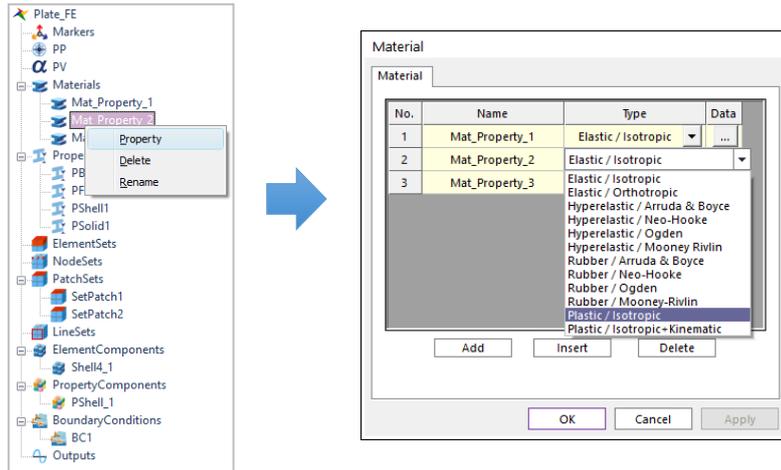
预计完成时间

20分钟

进行塑性建模 (1)

创建塑性材料:

1. 双击 **Plate_FE** 体, 进入 **Body Edit** 模式。
2. 双击 **Mat_Property_2**, 打开 **Material Property** 对话框, 如下图所示。

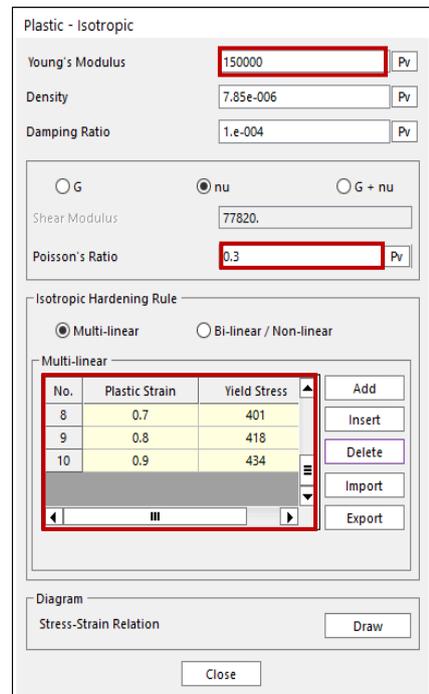


3. 在 **Material** 对话框, 在 **Mat_Property_2** (No.2) 右侧的下拉菜单中, 选择 **Plastic/Isotropic**。然后单击...按钮, 弹出 **Plastic-Isotropic** 对话框。

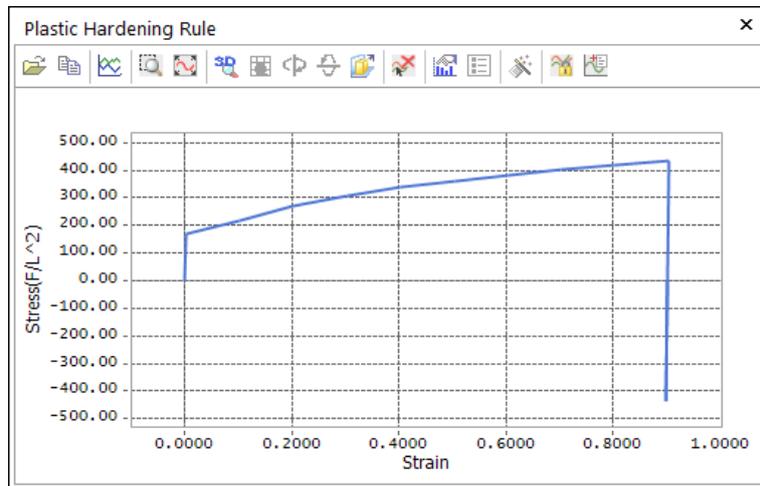
4. 在 **Plastic-Isotropic** 对话框中, 设置如下:

- 将 **Young's Modulus** 数值从 200, 000 改成 150, 000。
- 选择 **Nu** 按钮, 将 **Poisson's Ratio** 改成 0.3。
- 在 **Multi-linear** 框中, 点击 **Add** 按钮, 添加新的一行。然后在 **Plastic Strain** 和 **Yield Stress** 中, 输入下面表格中的数值。

No.	Plastic Strain	Yield Stress
1	0	168
2	0.1	219
3	0.2	272
4	0.3	308
5	0.4	337
6	0.5	361
7	0.6	382
8	0.7	401
9	0.8	418
10	0.9	434

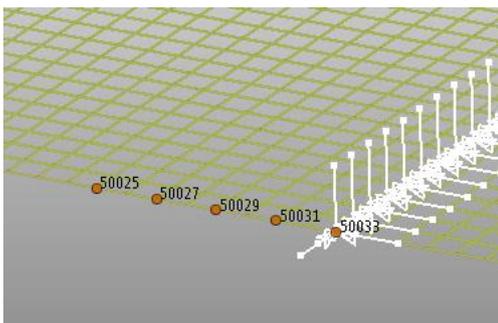
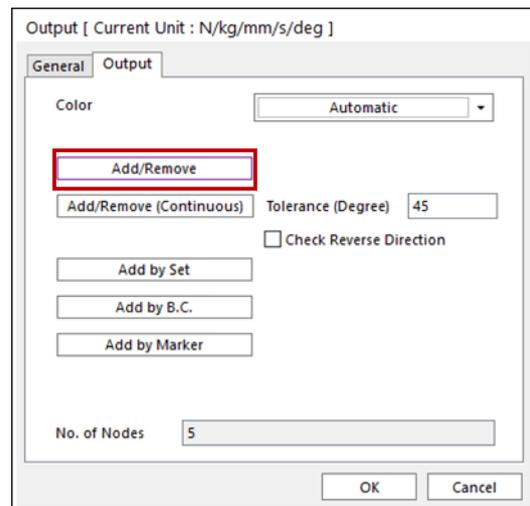


5. 为了确认在之前步骤中输入的数据是正确的，在 **Diagram** 框中，点击 **Draw** 按钮，出现的图像如下图所示。



6. 在 **FFlex Edit** 组中，点击 **Output** 图标。当弹出 **Output Current Unit** 对话框时，点击 **Add/Remove** 按钮。

- 按住 **Shift** 键，点击 5 个结点（50033, 50031, 50029, 50027, 50025），如下图所示。
- 在选择这些结点之后，右键点击工作框，会出现下拉菜单，然后点击 **Finish Operation**。



7. 在 **Outputs** 对话框时，点击 **OK** 按钮。

8. 在 **FFlex Edit** 标签的 **Exit** 组中，点击 **Exit** 图标，回到高级菜单。

9. 在 **File** 菜单中，点击 **Save As**。然后将模型保存成 **Plasticity_Bending_Machine_Isotropic.rdyn**。

进行塑性分析 (1)

运行仿真，查看塑性材料的塑性分析结果。

运行仿真:



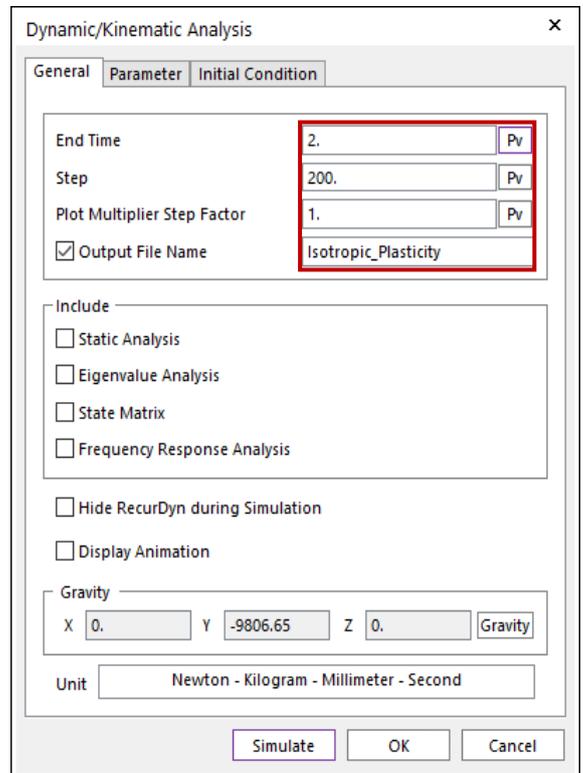
1. 在 **Analysis** 标签的 **SimulationType** 组中，点击 **Dyn/Kin** 图标。

弹出 **Dynamic/Kinematic Analysis** 对话框。

2. **End Time** 和 **Step** fields，设置如下：

- **EndTime** : 2
- **Step** : 200
- **Plot Multiplier Step Factor** : 1
- **Output File Name** : **Isotropic_Plasticity**

3. 点击 **Simulate**。



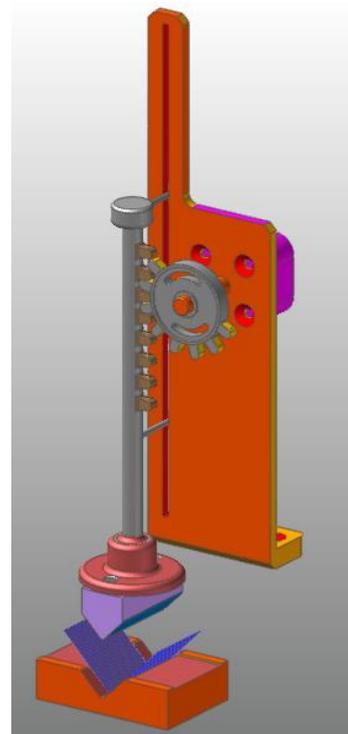
查看结果:



在 **Analysis** 标签的 **Animation Control** 组中，点击 **Play** 按钮。

不同于弹性分析的结果，在塑性分析中，冲压机在撞击之后，金属盘在 **V** 方向的形状依然保持着模具的形状。

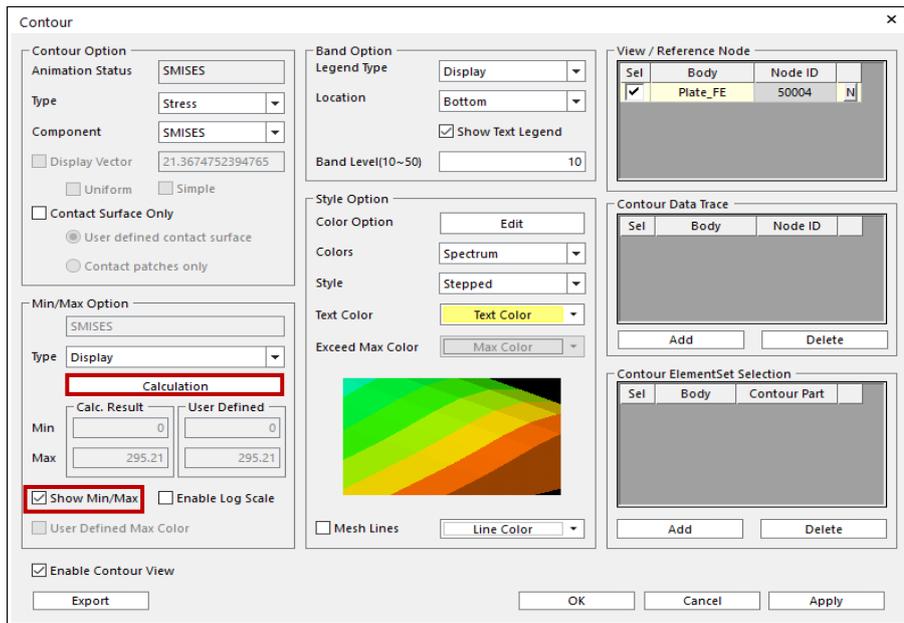
并且，在弹性分析中的弹簧效应也消失了，所以传送装置不会反弹回去。正因如此，当传送装置的齿轮接触到轮齿时，传送装置会再次上升，这个过程会一直重复下去。



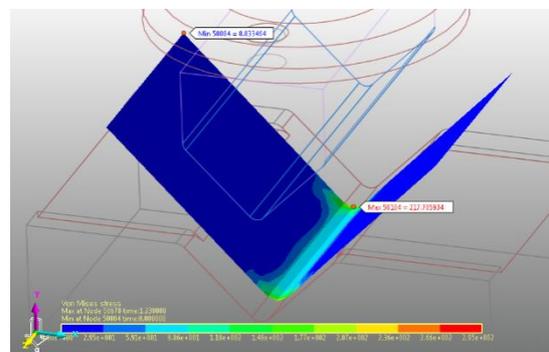
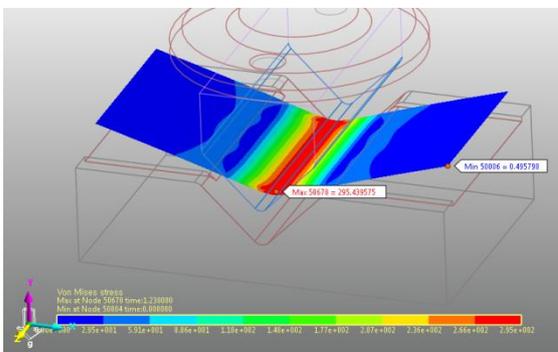
检验云图结果:



1. 在 Flexible 标签的 FFlex 组中, 点击 Contour 图标, 弹出 Contour 对话框。
2. 在 Contour dialog window 中, 进行如下操作:
 - 在对话框中间, 点击 Calculation 按钮。
 - 选择 Show Min/Max 复选框。
 - 点击 OK 按钮, 查看结果。



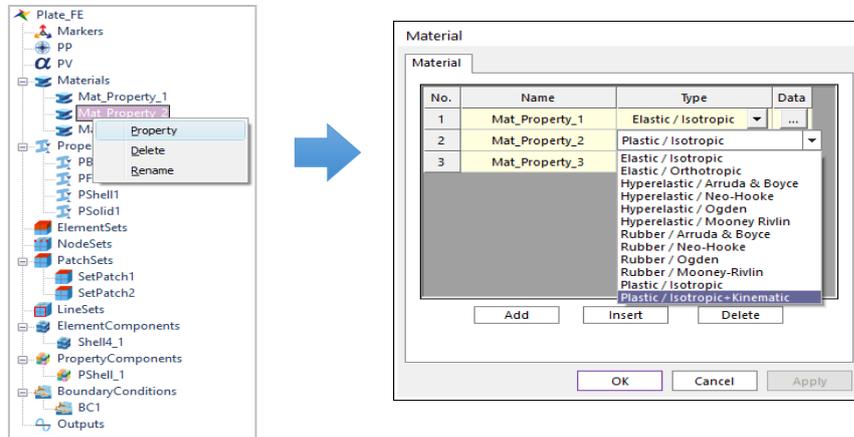
3. 在 Analysis 标签的 Animation Control 组中, 点击 Play 按钮。
 - 查看 Plate_FE 的云图结果, 如下面所示, 点击 Toolbar 中的 Wireframe 图标, 播放动画。
 - 可以观察到在 1.23 秒, Maximum Von-Mises Stress 大约是 295.44 Mpa。在 1.52 秒后, 残余应力大约是 217.78 Mpa。



进行塑性建模 (2)

创建塑性材料:

1. 双击 **Plate_FE** 体, 进入 **Body Edit** 模式。



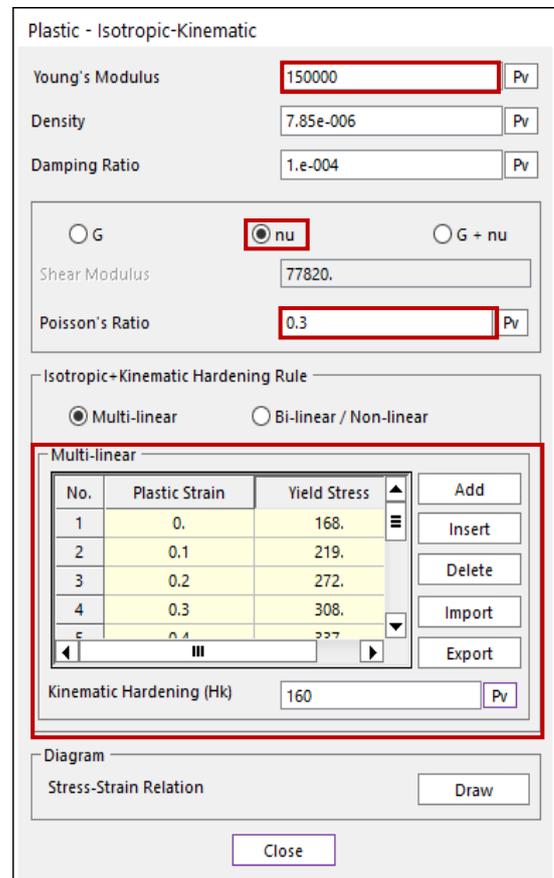
2. 在 **Database** 栏中, 右键点击 **Plate_FE**, 然后在上下文菜单中, 选择 **Edit**。然后双击 **Mat_Property_2**, 打开 **Material Property** 对话框, 如下图所示。

3. 在 **Material** 对话框中, 在 **Mat_Property (No.2)** 的右侧下拉菜单中, 选择 **Plastic / Isotropic + Kinematic**。然后点击...按钮, 会弹出 **Plastic - Isotropic-Kinematic** 对话框。

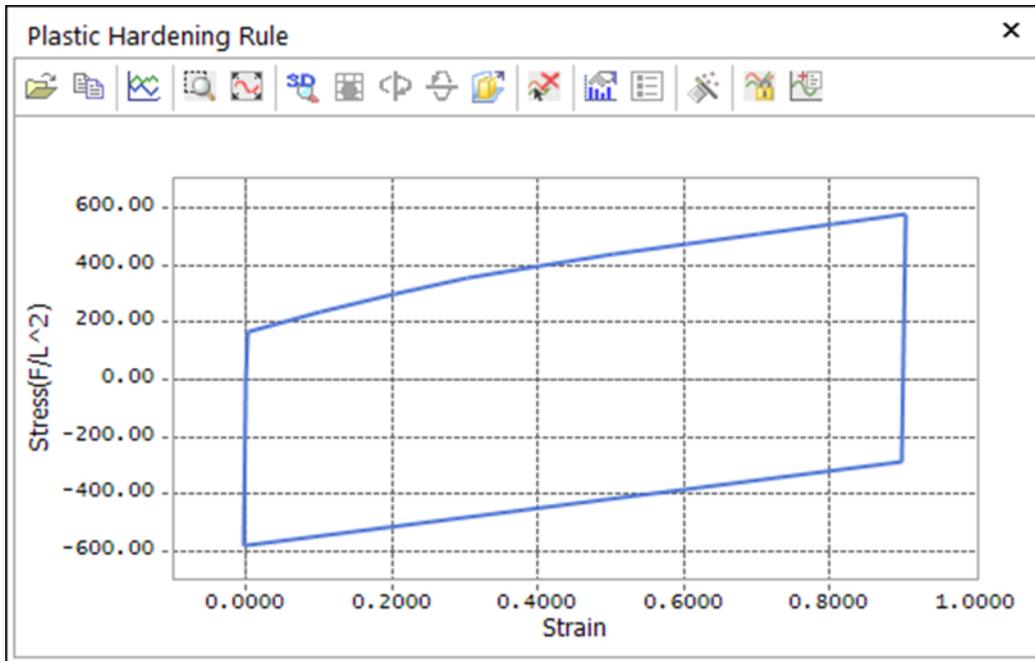
4. 在 **Plastic - Isotropic-Kinematic** 对话框中, 如下图所示 (如果是按照 **Performing Plastic Modeling (1)** 进行操作, 那么不要改变 **Young's Modulus** 和 **Nu**。)。

- 改变 **Young's Modulus** 数值, 从 200,000 变成 150,000。
- 点击 **Nu** 比例按钮, 并改变 **Poisson's Ratio** 为 0.3。
- 在 **Multi-linear** 框架中, 点击 **Add** 按钮, 会出现新的一行。然后, 按照下面表格给出的数据输入 **Plastic Strain** 和 **Yield Stress** 的数值。

No.	Plastic Strain	Yield Stress
1	0	168
2	0.1	219
3	0.2	272
4	0.3	308
5	0.4	337
6	0.5	361
7	0.6	382
8	0.7	401
9	0.8	418
10	0.9	434



- 在 **Kinematic Hardening (Hk)** 中，输入 **160**。
5. 为了确认之前步骤输入的数值正确，在 **Diagram** 框中，点击 **Draw** 按钮，确认出现的图像如下图所示。



6. 在 **FFlexEdit** 标签的 **Exit** 组中，点击 **Exit** 图标，返回到高级菜单中。在 **File** 菜单中，点击 **Save As**，然后将模型保存为 **Plasticity_Bending_Machine_Isotropic_Kinematic.rdyn**。

进行塑性分析 (2)

为了查看塑性材料的塑性分析结果，必须要进行另一个仿真。

运行仿真：



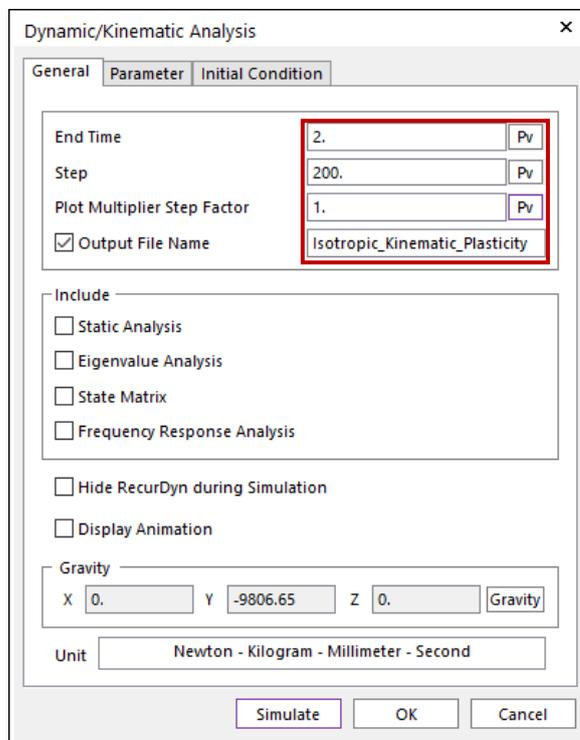
1. 在 **Analysis** 标签的 **Simulation Type** 组中，点击 **Dyn/Kin** 图标。

弹出 **Dynamic/Kinematic Analysis** 对话框。

2. 按照下面的说明设置 **End Time** 和 **Step**：

- **EndTime** : 2
- **Step** : 200
- **PlotMultiplierStepFactor** : 1
- **Output File Name** : **Isotropic_Kinematic_Plasticity**

3. 点击 **Simulate**。

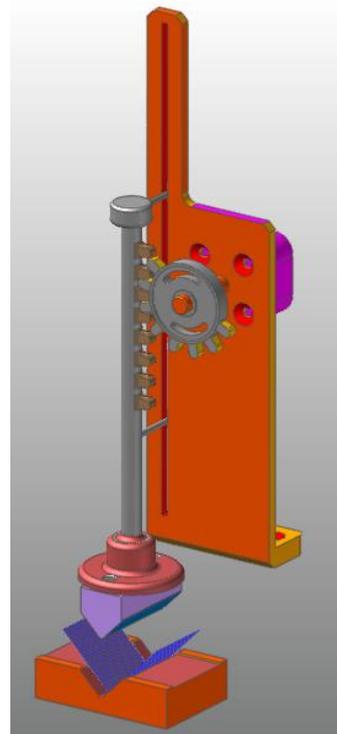


查看结果：

- ▶ 在 **Analysis** 标签的 **Animation Control** 组中，点击 **Play** 按钮。

和 **Performing Plastic Analysis (1)** 中的结果一样，在这个仿真中，在冲压机撞击之后，金属盘在 **V** 方向依然保持着模具的形状。

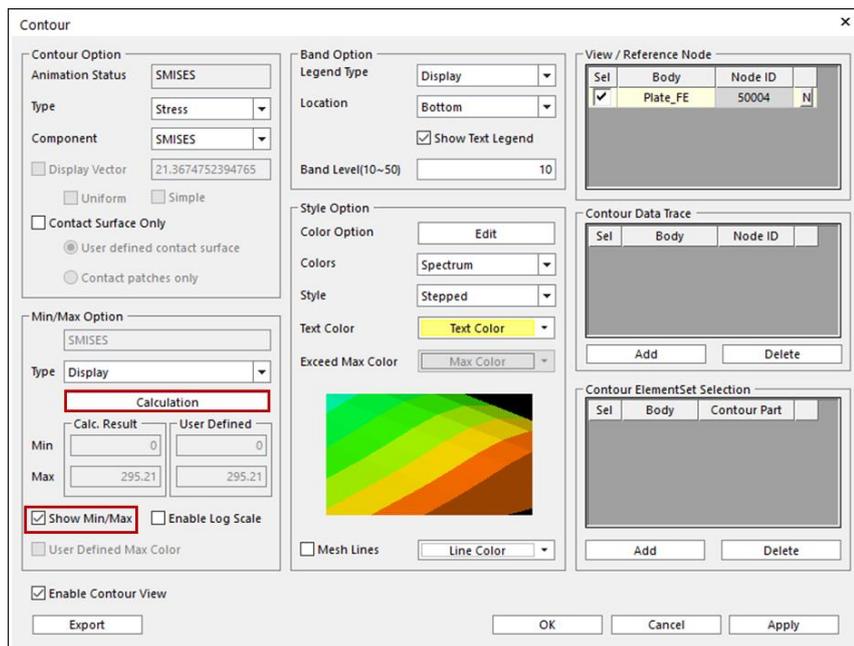
因此，当齿轮接触到传送装置的轮齿时，传送装置会再次上升，这个过程会重复下去。



检查云图结果:



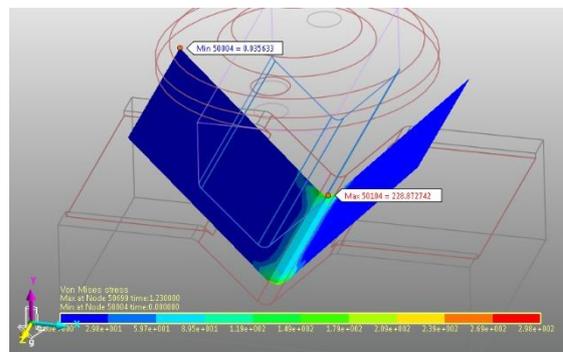
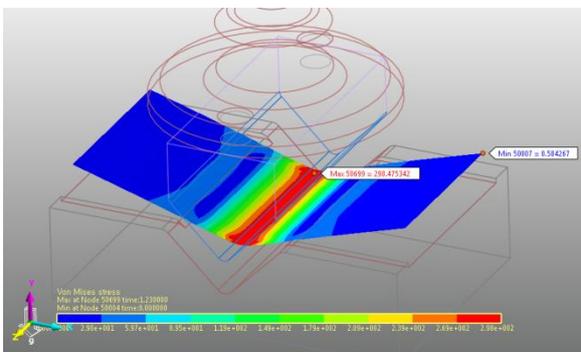
1. 在 **Flexible** 标签的 **FFlex** 组中，点击 **Contour** 图标，会出现 **Contour** 对话框。
2. 在 **Contour** 对话窗口，设置如下：
 - 在对话窗口的中间，点击 **Calculation** 按钮。
 - 选择 **Show Min/Max** 复选框。
 - 点击 **OK** 按钮，以查看结果。



3. 在 **Analysis** 标签的 **Animation Control** 中，点击 **Play** 按钮。



- 为了查看 **Plate_FE** 的云图结果，如下面所示，在 **Toolbar** 中，点击 **Wireframe** 图标，然后播放动画。
- 可以看到，在 1.23 秒，**Maximum Von-Mises** 大约为 298.48Mpa。在 1.53 秒后，残余应力大约为 228.87Mpa。



Chapter

6

分析并回顾结果

任务目标

本章分析两种不同塑性材料的分析结果，并对塑性分析结果与弹性分析结果的区别，进行了比较。



预计完成时间

10 分钟

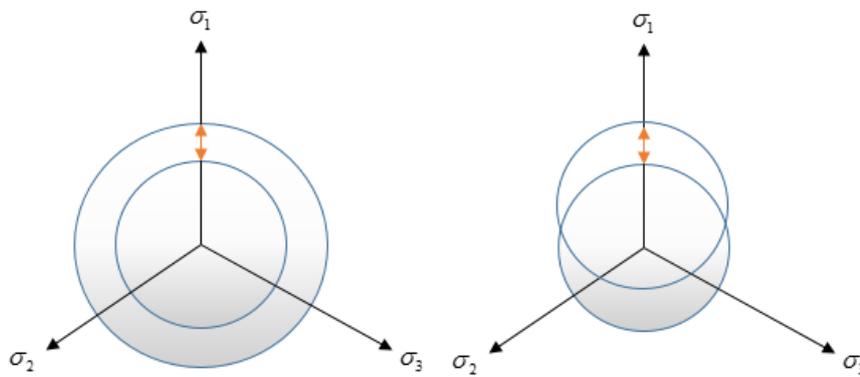
分析塑性分析结果

金属的塑性理论解释

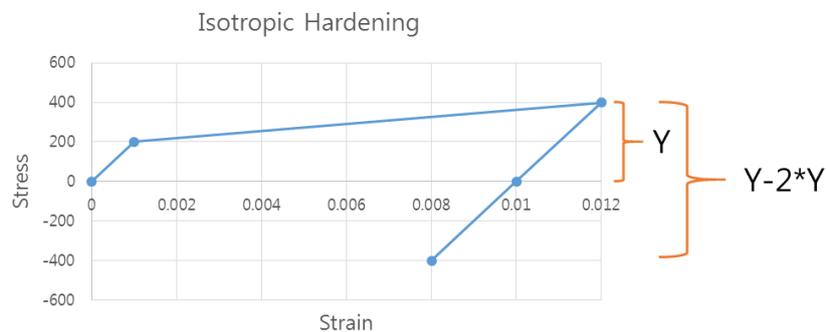
在之前章节的最后分析中，由于受到冲压机冲击力，由柔性体组成的金属板发生了塑性变形，在变形时产生的应力被称为屈服应力。通过指定应力沿 **X**、**Y** 和 **Z** 轴在三维空间中的分量，应力可以表示为一个三维的形状，如一个球体或立方体，这样的球体或立方体的表面被称为屈服面。

如果再次增加负载，材料将从弹性阶段进入到塑性阶段，材料的屈服应力随着材料的变形而增加。这个过程被称为强化。强化是塑性材料的一种基本特性。**RecurDyn** 可以仿真两种类型的强化。

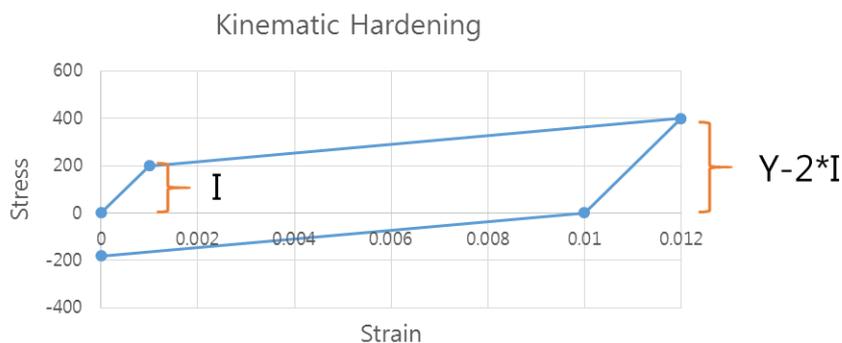
第一种是等向强化，屈服面的应力以相同速率沿着各个方向扩大。第二种是随动强化，屈服面的大小保持不变，但是屈服面的中心发生移动。



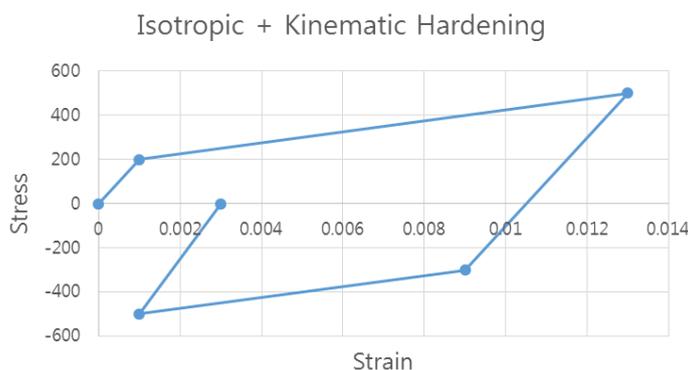
如果只存在等向强化时，当拉伸载荷消失，对于已经进入塑性阶段的材料施加压缩载荷，屈服应力从 $+Y$ 变成 $-Y$ ($Y - 2 \times Y$)。在这个过程中，材料的应力-应变关系显示出线性弹性行为。



如果只有随动强化存在，在材料进入塑性阶段后去除拉伸载荷，施加一个压缩载荷，材料的应力从 Y 变成 $Y-2 \times I$ 。在这个过程，材料的应力-应变曲线也显示为线性弹性行为。



RecurDyn 提供两种强化选项。第一个选项只存在等向强化。第二个选项是等向强化和随动强化，既包括了等向强化，也包括了随动强化。



本教程使用的弯曲机中，由于冲压机下落对金属板造成变形后，没有再施加引起变形的的外力。因此，对于等向强化与随动强化来说，没有太大的物理差异。然而，如果使用一个非零值的 **Kinematic Hardening(Hk)**，会使有效的强化模量的数值发生改变，导致在塑性范围（塑性模量）的斜率变化，产生不同的残余应力和永久应变结果。

比较塑性分析 (1) 和 (2) 的结果

比较分析结果:



1. 在 **Analysis** 标签的 **Plot** 组中，点击 **Plot**，进入 **Plot** 模式。

建模工作框会变成绘图工作框。



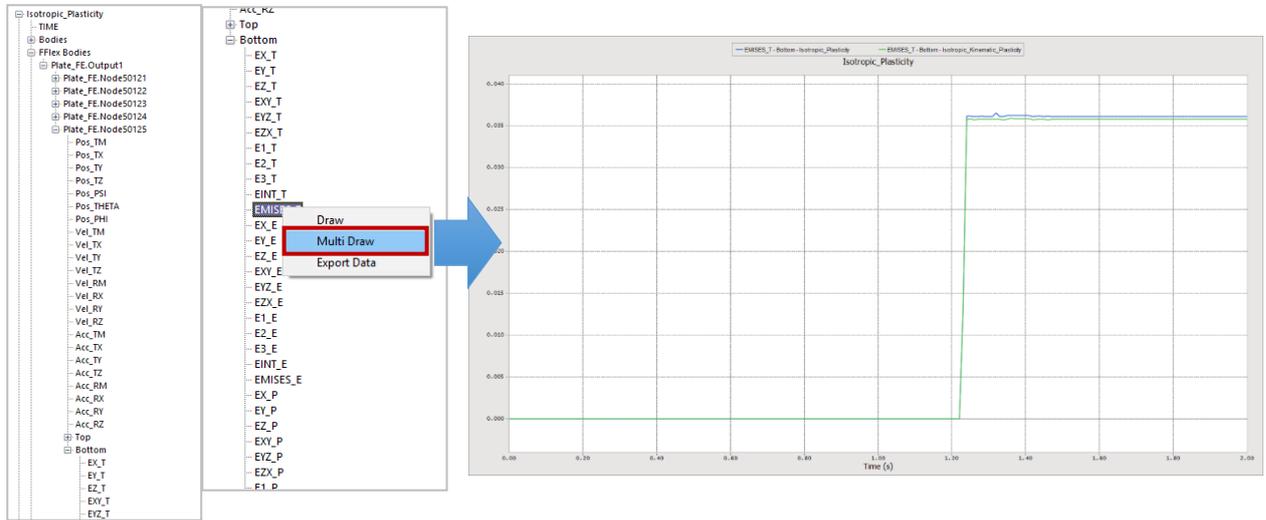
2. 在 **Home** 标签的 **Import and Export** 组中，点击 **Import**。

在 **Import** 对话框中，选择 ***.rplt files**，创建两个塑性分析。

- 在第一个分析中创建的输出文件夹，选择 **Isotropic_Plasticity.rplt**。
- 再次点击 **Import** 图标，在第二次仿真中创建的输出文件夹，选择 **Isotropic_Kinematic_Plasticity.rplt**。（如果在完成了各向同性运动学分析后，直接进入了 **Plot** 模式，那么这个文件是自动导入的。）

3. 正如下图所示，在两个 **rplt** 文件中的数据会出现在 **Database** 框中。

- 在 **Isotropic_Plasticity** 的左侧点击+按钮。在分支树中，在 **FFlex_Bodies-Plate_FE.Output1-Plate_FE_Node5033, Bottom-Bottom** 的左侧，点击+按钮，然后选择 **EMISES_T**。
- 右键点击 **EMISES_T**，显示对话框，然后点击 **Multi Draw**。

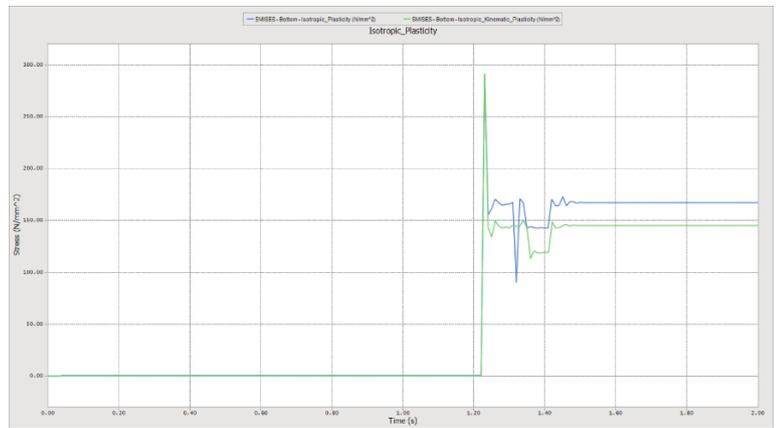


4. 右侧的 **Plot** 窗口中显示两张图片。
5. 查看两个曲线的联系，在第三步右键点击 **SMISES**，而不是 **EMISES_T**，并选择 **Multi Draw**。

分析结果

在前面的程序中绘制的图形表明：

总应变由塑性应变和弹性应变组合而成。塑性应变导致金属板的永久变形。此外，还检测到塑性材料只有各向同性强化和塑性材料各向同性强化与随动强化都存在时的行为差异。正如前面所解释的，这是在塑性范围斜率的差异所导致的。

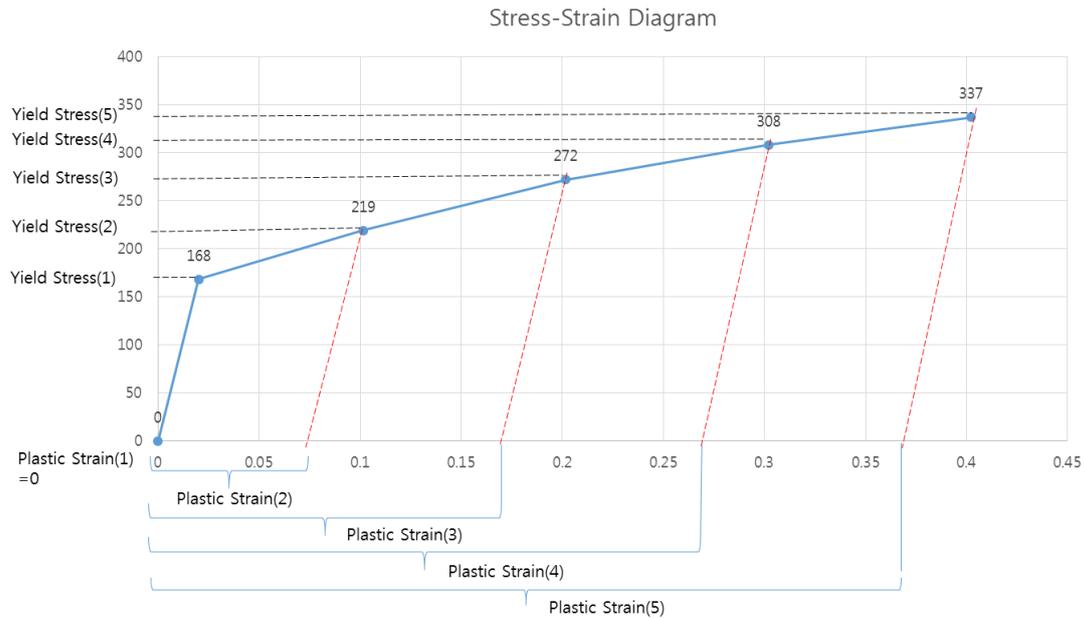


正如在 **Von-Mises** 应力结果里看到的那样，金属板在收到外界影响发生变形后，又保留了一些残余应力。

供参考

多线性模型

塑性范围的应力-应变关系可以用公式表示。本教程使用了一个多线性模型，利用多个线性数据，计算塑性模量。该方法从试验结果中提取得到塑性应变和屈服应力值，并利用这些数值生成一个多线性模型。



如上图所示，可以通过试验，获得塑性应变 (x) 和屈服应力 (y) 值，并在 **Plastic – Isotropic** 对话框的 **Multi-linear** 方框中，输入这些数值，创建蓝色的应力-应变图。在应力-应变图中，塑性范围内的应变是由塑性应变和弹性应变所构成的总应变。因此，当在 **Multi-linear** 框中输入数据时，必须确保只输入“塑性应变”。在试验中，通过施加一个大于屈服应力的载荷，并测量材料的变形程度，可以获得塑性应变。

感谢参与本教程学习!