

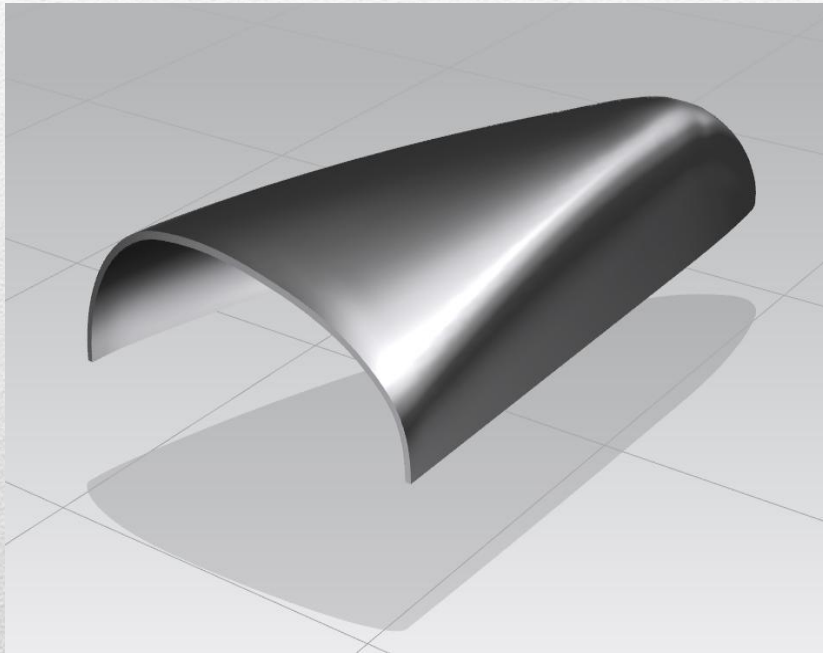


Национальный исследовательский
Иркутский государственный
технический университет

**Моделирование процесса производства
детали «Обтекатель»
с целью перевода ее изготовления
с листоштамповочных молотов**

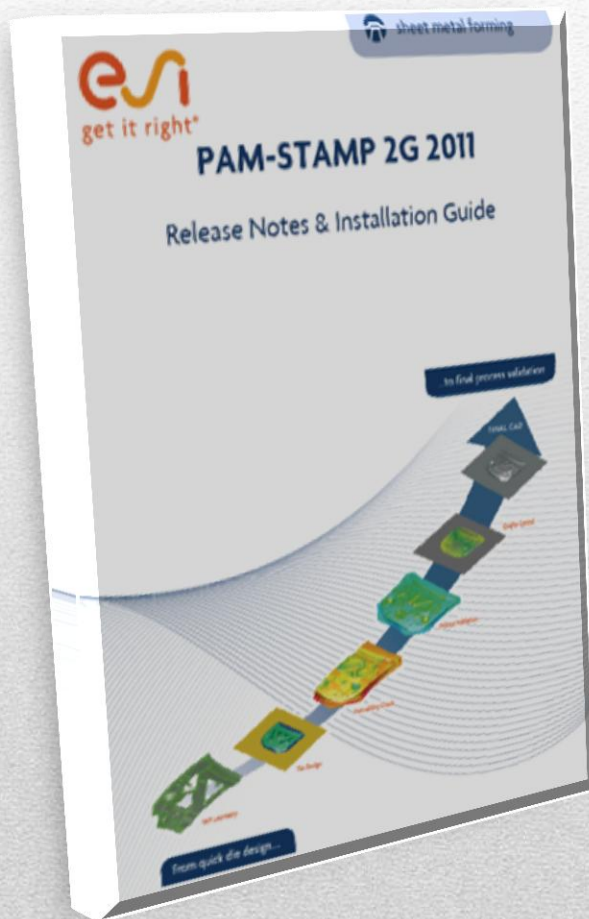
Иркутск 2013

Исследуемая деталь

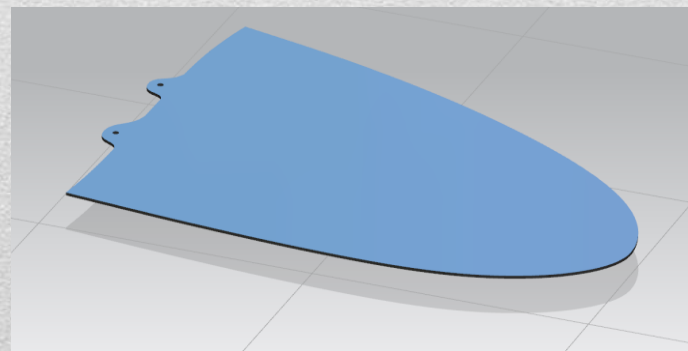
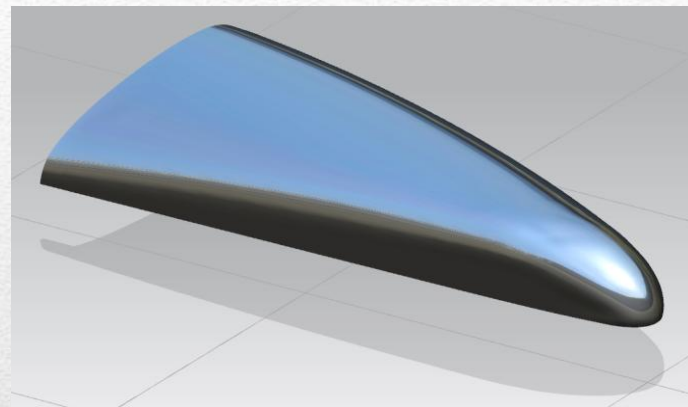
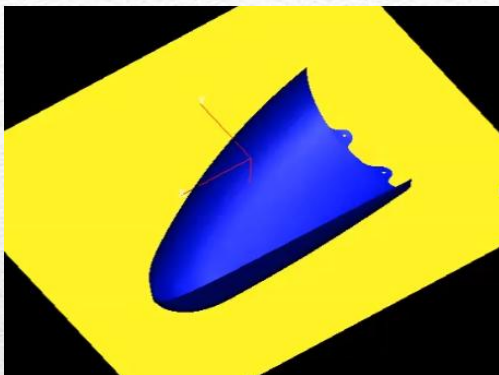


- Деталь типа «Обтекатель»
- Материал – АМг6БМ
- Толщина – 2 мм.
- Задачи:
 - найти способ получения детали на прессе Я06017, с максимальным давлением 80 МПа, без дефектов методом эластоформования с применением инженерного анализа, с полным исключением ручных доводочных работ;
 - максимальное утонение не должно превышать 20%;
 - максимальные деформации не должны превышать 20%.

Используемый программный продукт



Получение развертки с учетом свойств материала



1 вариант

Эластоформование в один переход

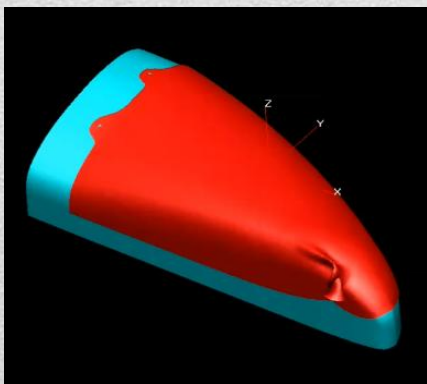
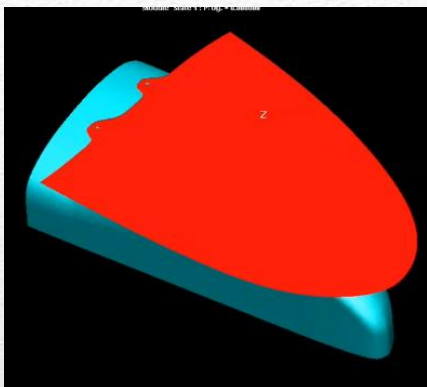


Схема формообразования:

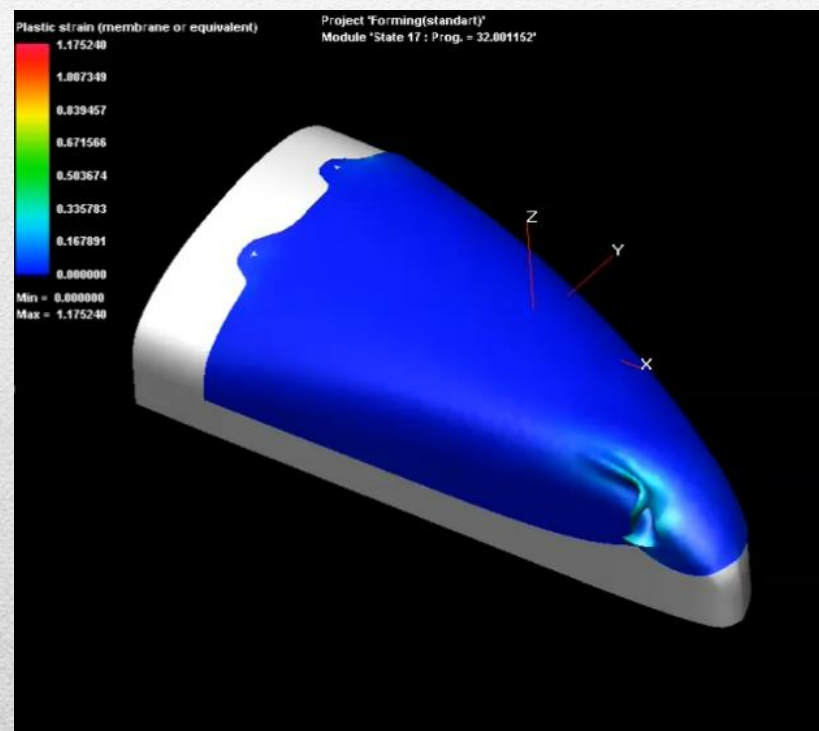
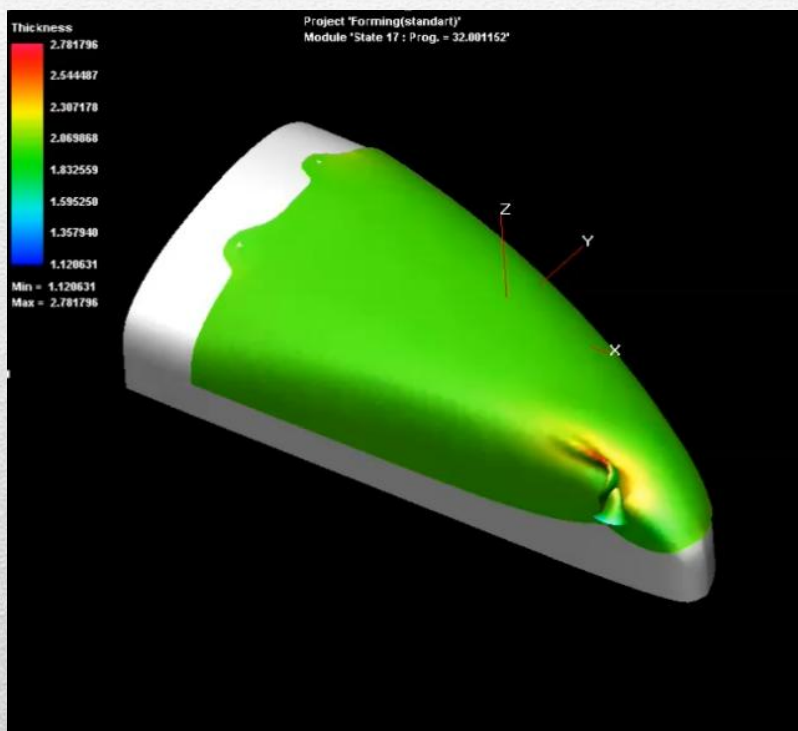
- используется 2 ШО;
- формообразование ведется за один переход;
- используется один пуансон;
- не используется крышка для формблока.

1 вариант

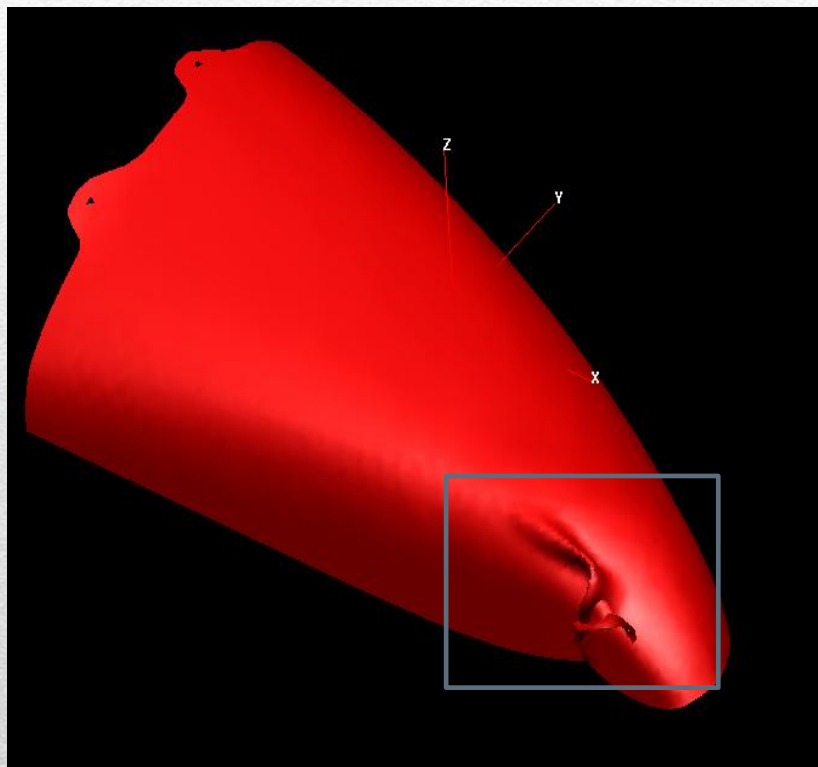
Эластоформование в один переход

Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 2,78 мм.
Минимальная толщина - 1,12 мм.
Утонение – 44%

Степень деформации
максимальная деформация – 117%



Выводы по эластоформованию в один переход



- в районе носка детали происходит потеря устойчивости с образованием высокого гофра;
- в ходе дальнейшего формования гофр складывается и образует дефект типа «складка»;
- данным способом деталь без дефектов не получается;
- утонение больше 20% (44%);
- максимальные деформации (117%) превышают 20%.

Рекомендация : добавить к пуансону складкодержатель для уменьшения потери устойчивости.

2 вариант

Эластоформование с применением складкодержателя

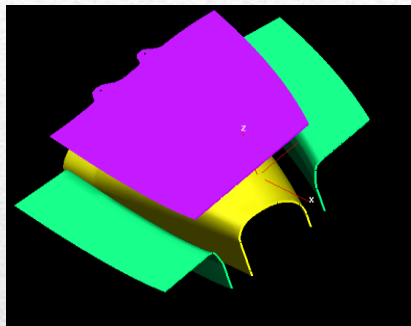
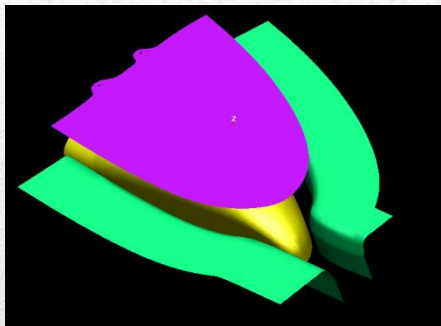
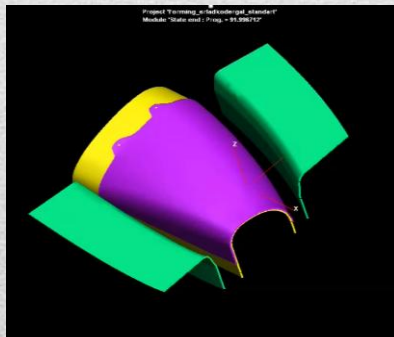
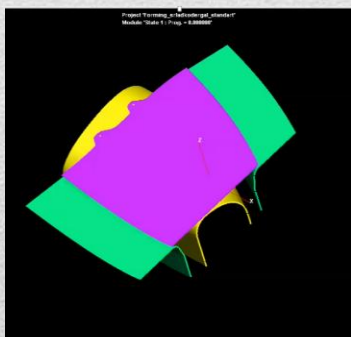


Схема формообразования:

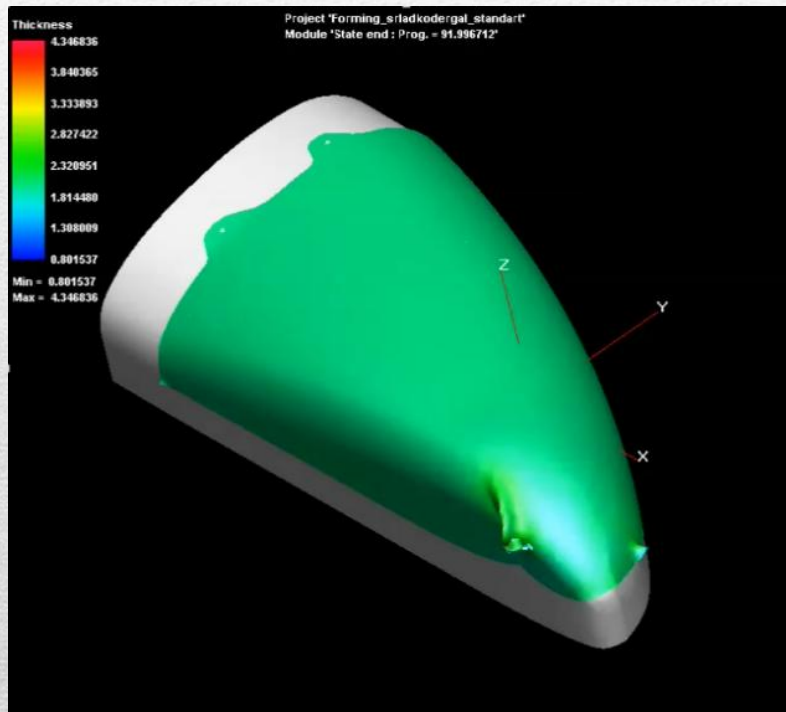
- используется 2 ШО;
- формообразование ведется за один переход;
- используется два складкодержателя с двух сторон детали.



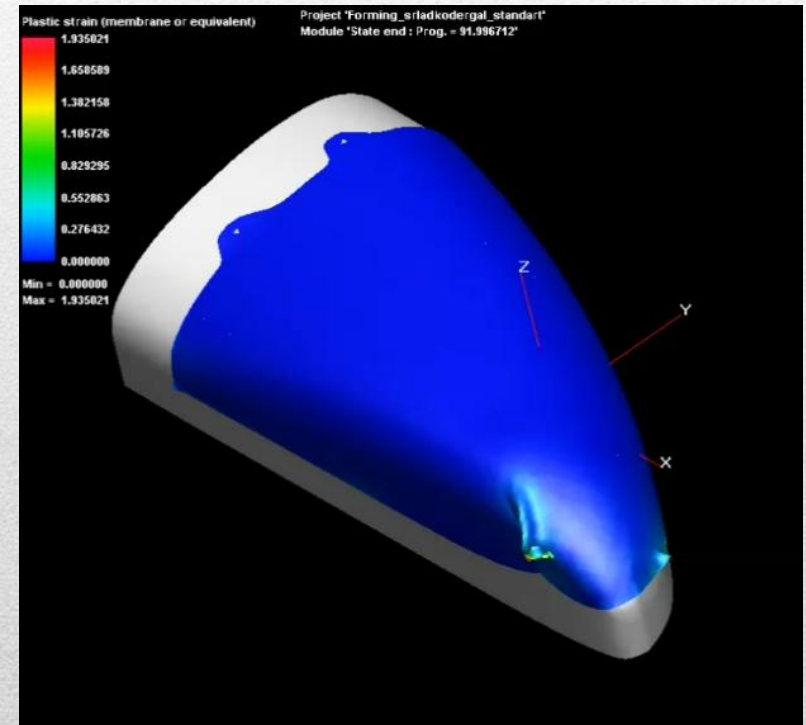
2 вариант

Эластоформование с применением складкодержателя

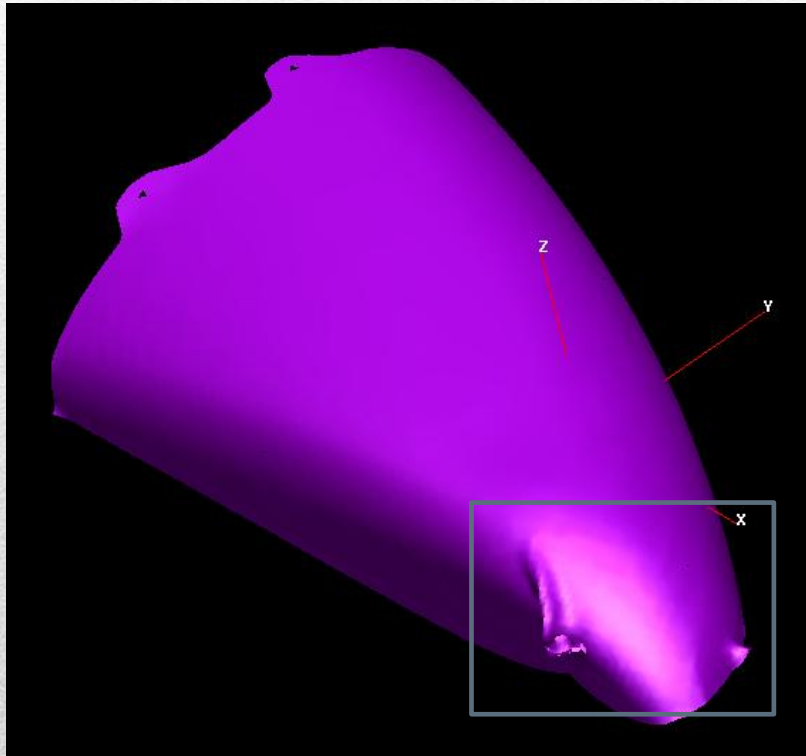
Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 4,34 мм.
Минимальная толщина - 0,8 мм.
Утонение – 60%



Степень деформации
максимальная деформация – 193%



Выводы по эластоформованию с применением складкодержателя



- добавление к оснастке конструкции складкодержателя по обе стороны детали не позволило устранить потерю устойчивости;
- в районе носка детали образуется высокий гофр, требующий для перемещения по складкодержателю большого давления, что создает запаздывание перемещения кромки в этой зоне относительно других частей детали;
- в конце формообразования получается дефект типа «складка»;
- утонение превышает 20% (60%);
- максимальные деформации (193%) превышают 20%.

Рекомендация : изменить расположение складкодержателя и сделать акцент на носок.

3 вариант

Эластоформование с применением складкодержателя, расположенного в носовой части

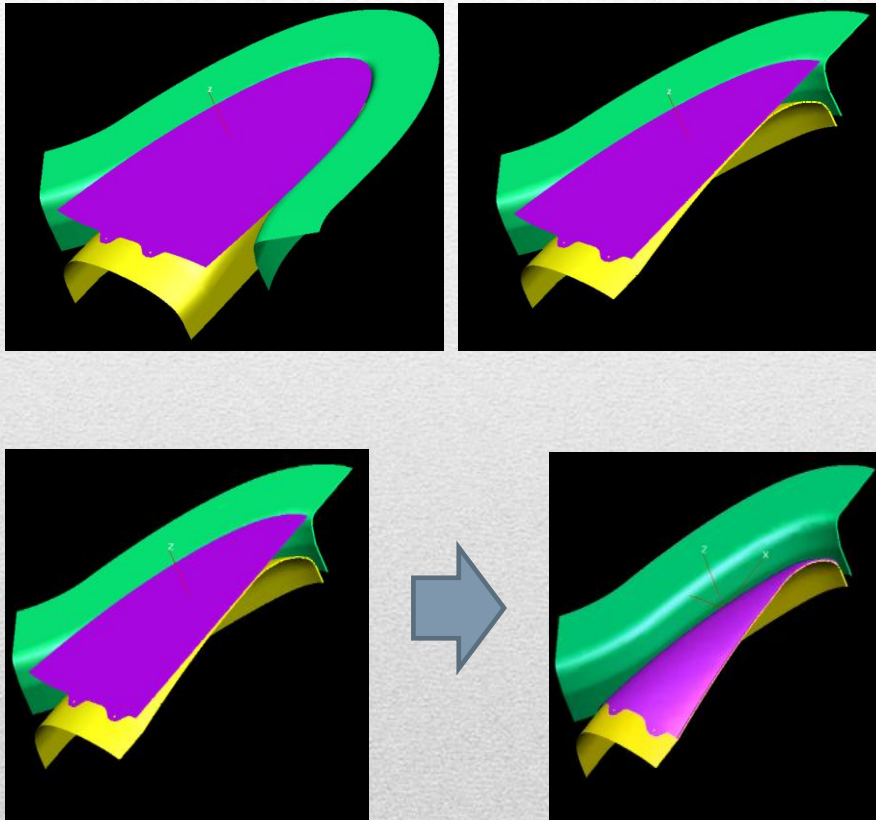


Схема формообразования:

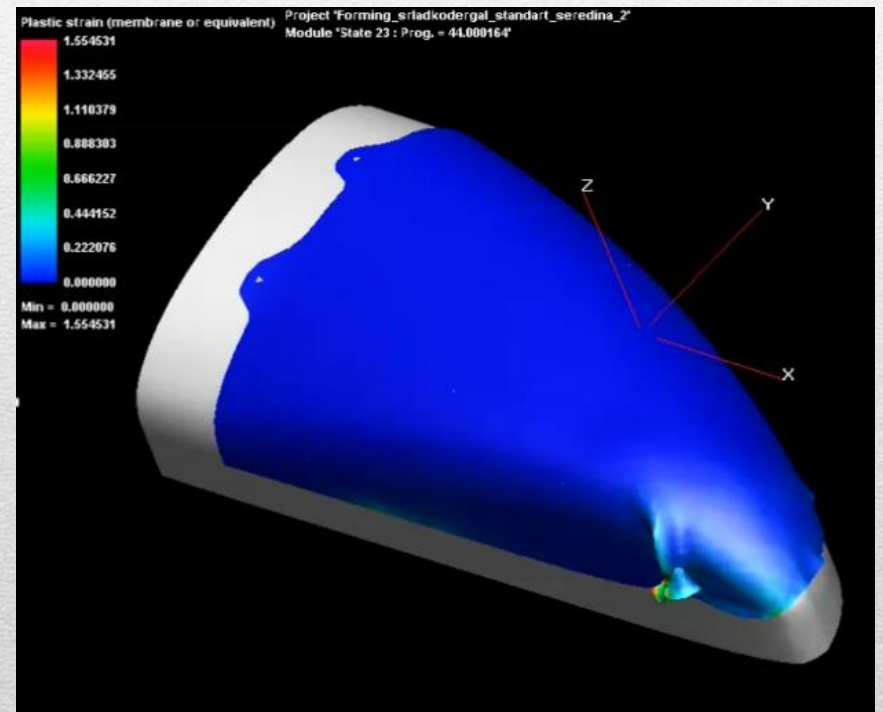
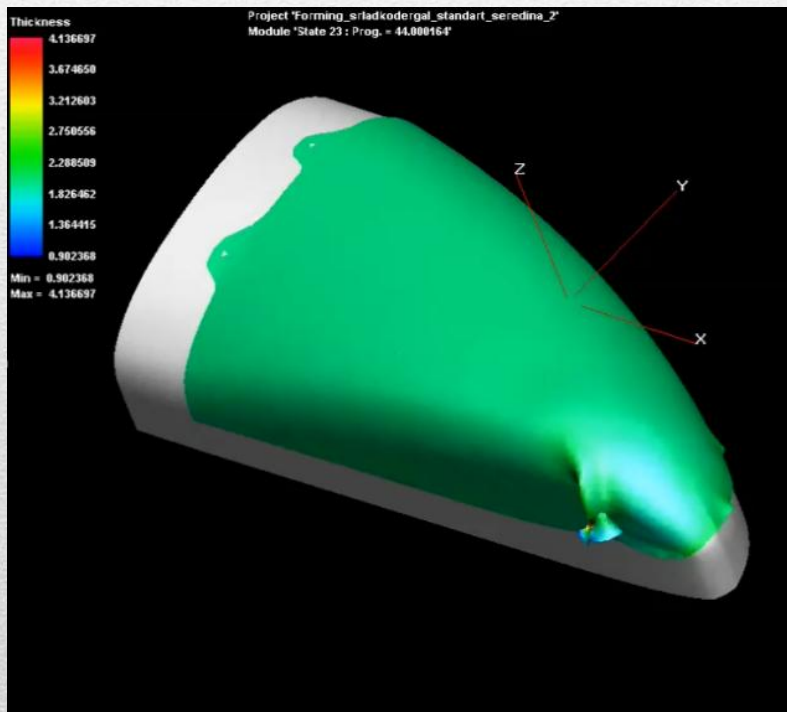
- используется 2 ШО;
- формообразование ведется за один переход;
- используется один складкодержатель в носовой части.

3 вариант

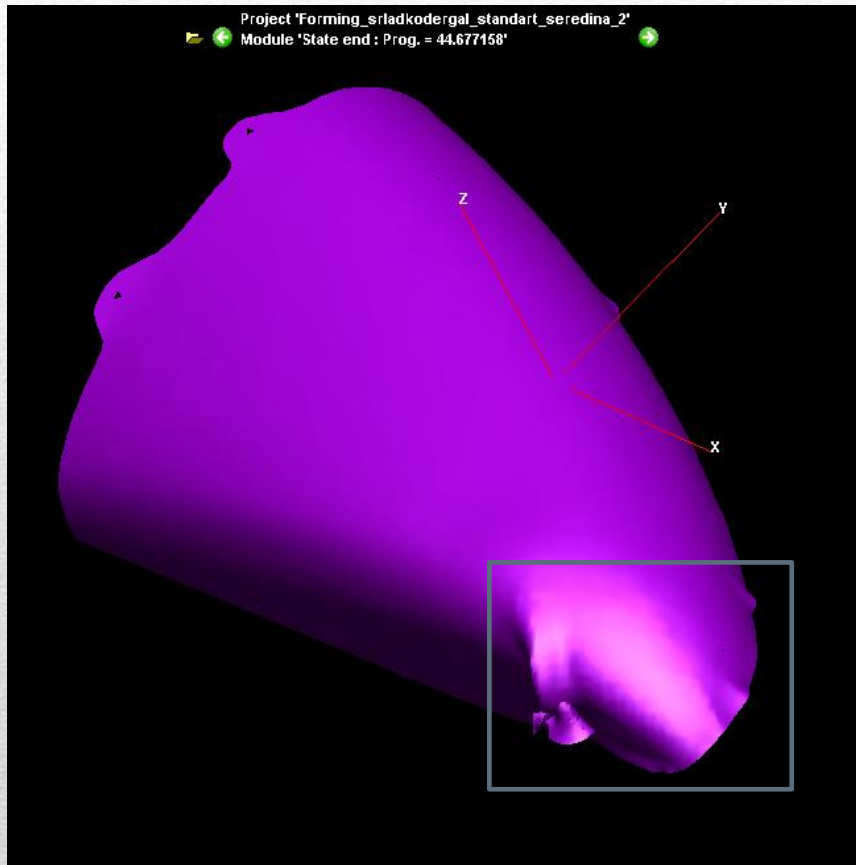
Эластоформование с применением складкодержателя, расположенного в носовой части

Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 4,13 мм.
Минимальная толщина - 0,9 мм.
Утонение – 55%

Степень деформации
максимальная деформация – 155%



Выводы по эластоформованию с применением складкодержателя, расположенного в носовой части

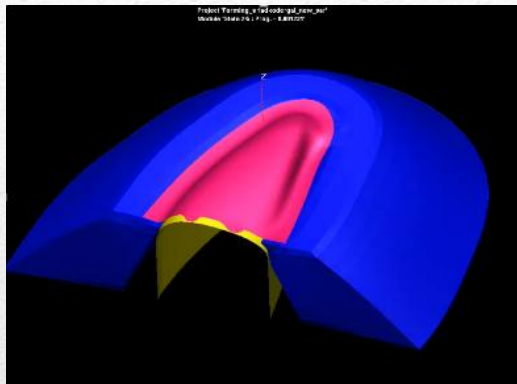


- добавление складкодержателя в носовой части не позволило устранить потерю устойчивости;
- в районе носка образуется высокий гофр, требующий для перемещения по складкодержателю большего давления, это создает запаздывание перемещения относительно других частей детали;
- в конце формообразования получается дефект типа «складка»;
- утонение превышает 20% (55%);
- максимальные деформации (155%) превышают 20% .

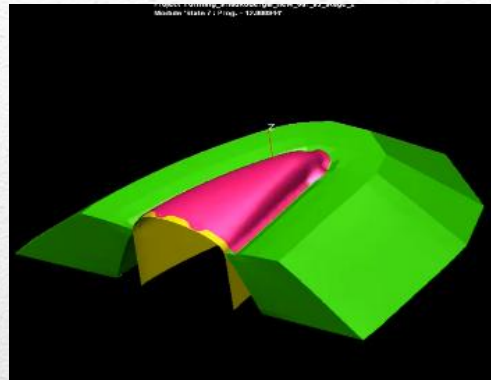
Рекомендация: обеспечить постоянный контакт заготовки с поверхностью складкодержателя в процессе формовки. Использовать эластичный складкодержатель.

4 вариант

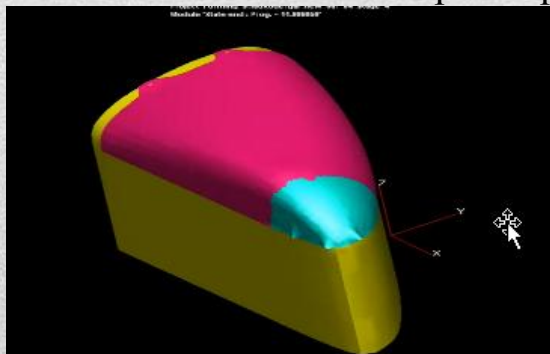
Эластоформование с эластичным складкодержателем



1 переход



2 переход (перед переходом проводится предварительная термообработка)



3 переход

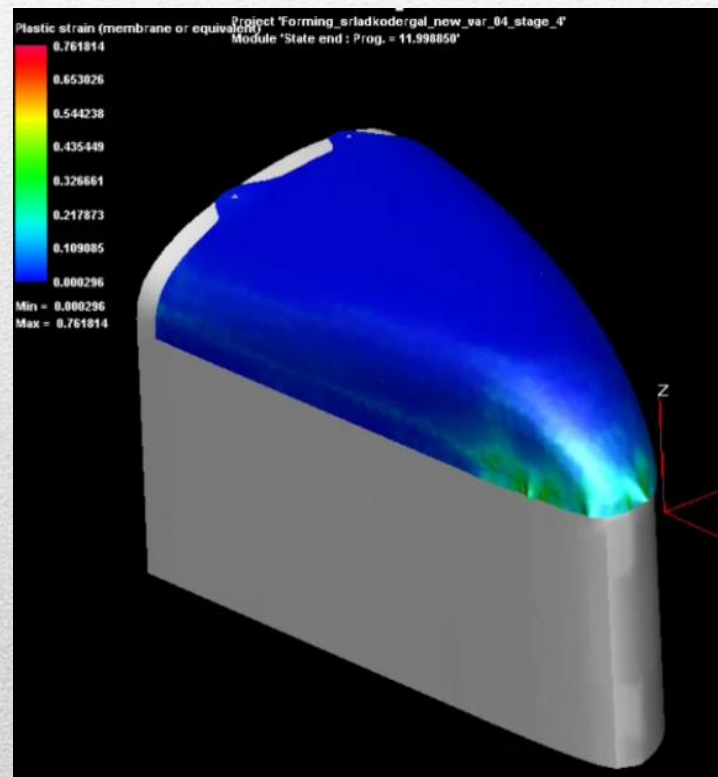
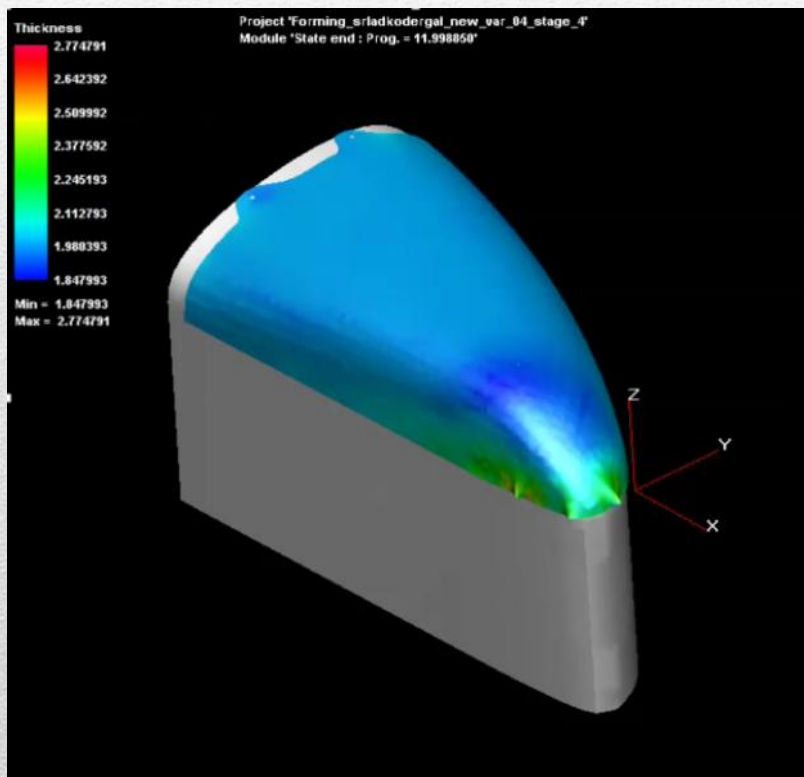
Схема формообразования:

- используется 2 ШО;
- используется эластичный складкодержатель по периметру формуемого борта;
- формообразование ведется за три перехода;
- на первом и втором переходах используются складкодержатели разной высоты;

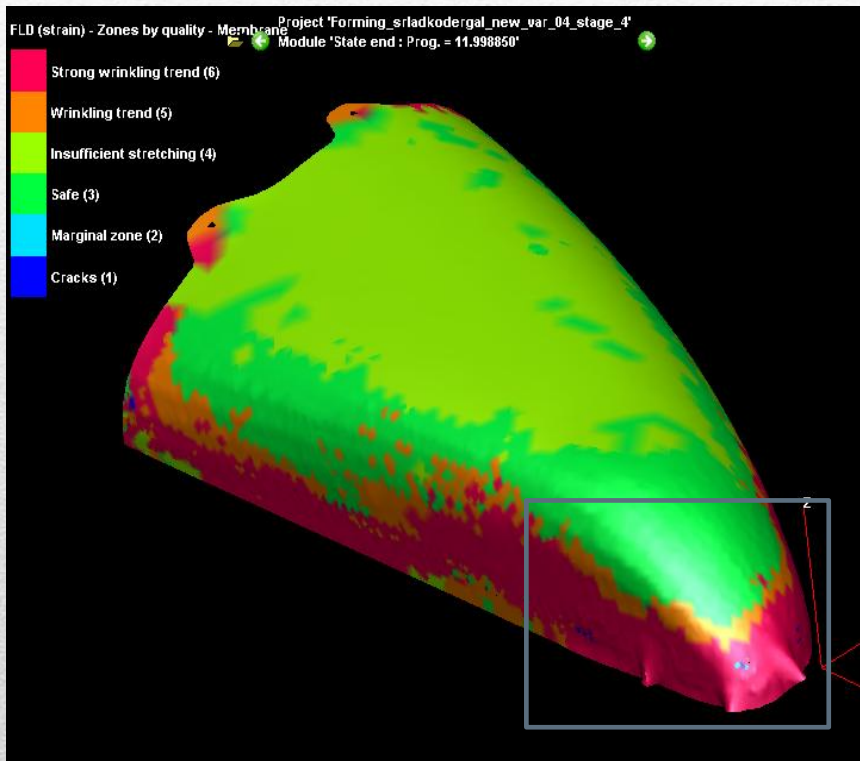
4 метод формообразования Эластоформование за 3 перехода с применением эластичного складкодержателя

Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 2,77 мм.
Минимальная толщина - 1,84 мм.
Утонение – 8%

Степень деформации
максимальная деформация – 76%



Выводы по эластоформованию за 3 перехода с применением эластичного складкодержателя



- Использование в оснастке эластичных складкодержателей в носовой части позволяет эффективно предотвращать потерю устойчивости;
- на третьем переходе (калибровочном) давления пресса Я06017 (80 МПа) не хватает для посадки образовавшихся малых гофров;
- по диаграмме ограничений формуемости видно, что на последнем переходе образуются трещины (синие зоны);
- утонение меньше 20% (8%);
- максимальные деформации (76%) превышают 20%.
Рекомендация: Создать на калибрующем переходе контакт с жестким элементом, не позволяющим появляться гофрам.

5 вариант

Эластоформование с использованием крышки

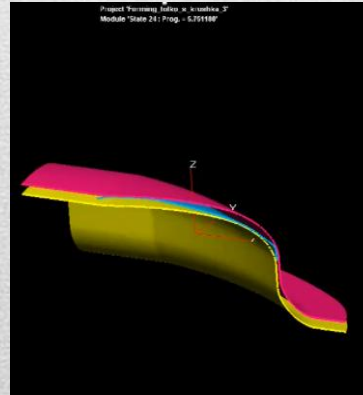
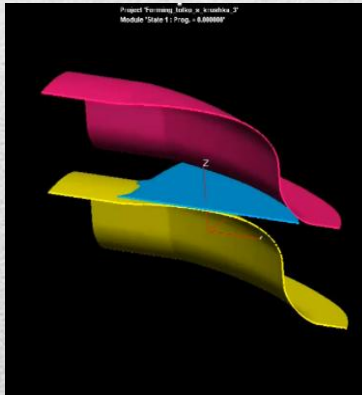
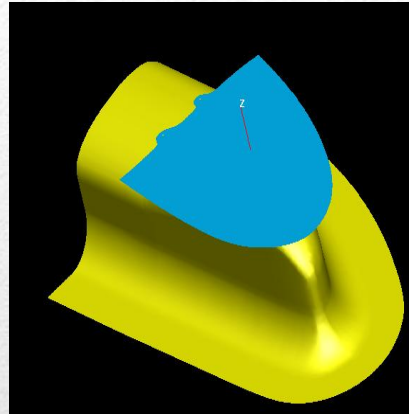


Схема формообразования:

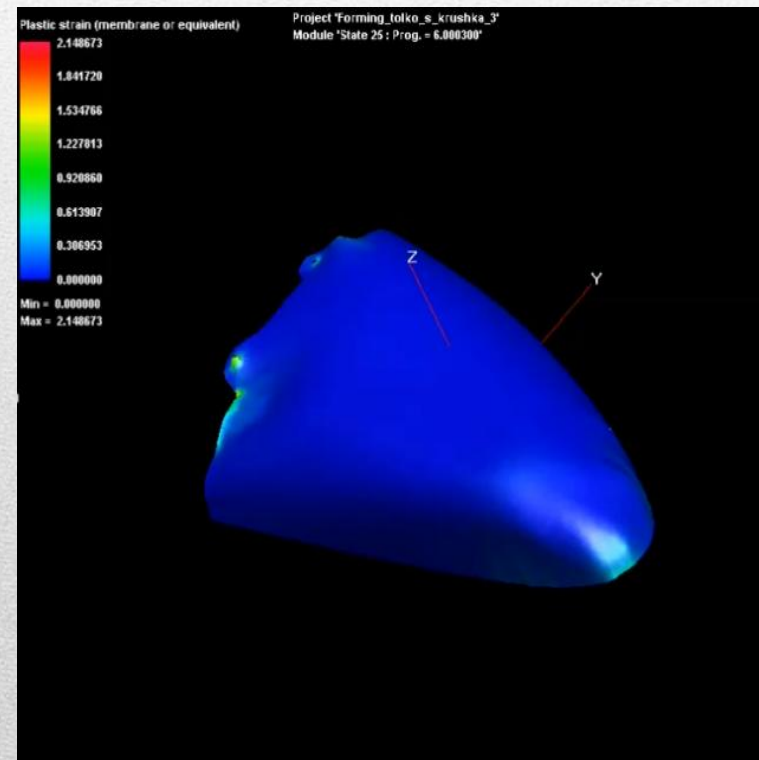
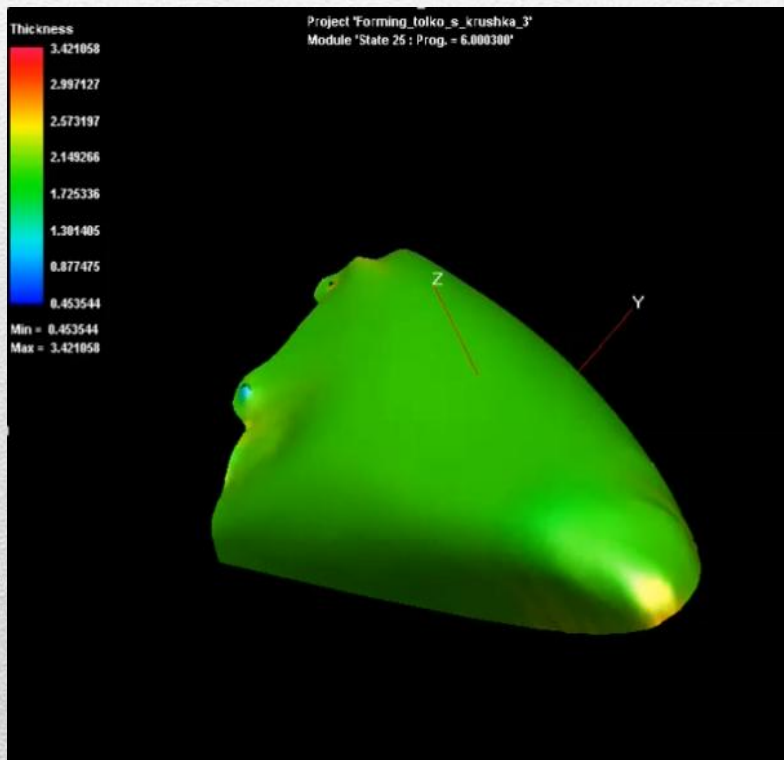
- используется 2 ШО;
- формообразование ведется за один переход;
- используется крышка для формблока в качестве формообразующего инструмента.

5 вариант

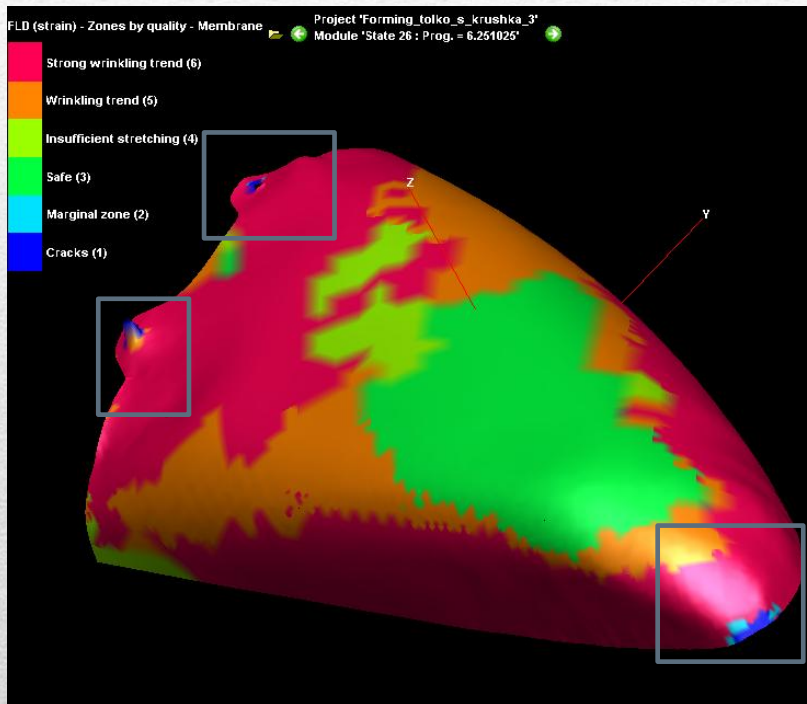
Эластоформование с применением крышки

Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 3,42 мм.
Минимальная толщина - 0,45 мм.
Утонение – 77,5%

Степень деформации
максимальная деформация – 214%



Выводы по эластоформованию с применением крышки

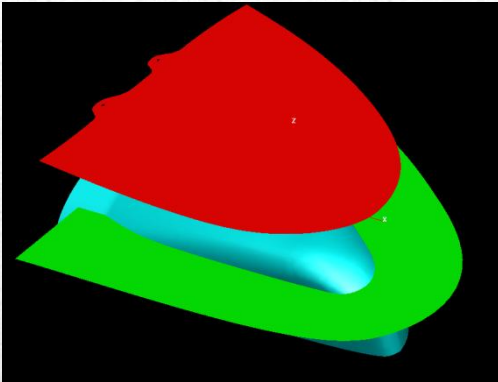


- формовка с применением крышки позволяет исключить появление гофра;
- возникает момент, создающий большие усилия на ШО. Как видно на диаграмме ограничений формуемости, в районе ШО возможны трещины (синие зоны);
- возможны трещины в носовой части детали (синие зоны);
- утонение превышает 20% (77,5%);
- максимальные деформации (214%) превышают 20%.

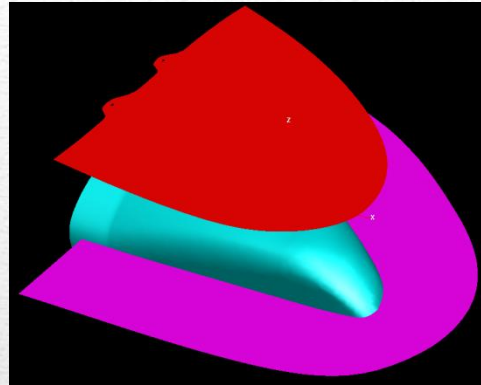
Рекомендация: использовать набор подкладных пластин по периметру формуемого борта с разной высотой и плоским основанием.

6 вариант

Эластоформование с подкладными пластинами



1 подкладная
пластина



2 подкладная
пластина

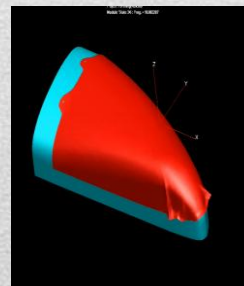
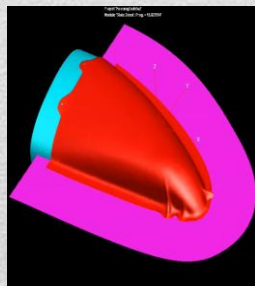
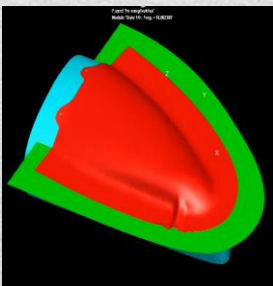


Схема формообразования:

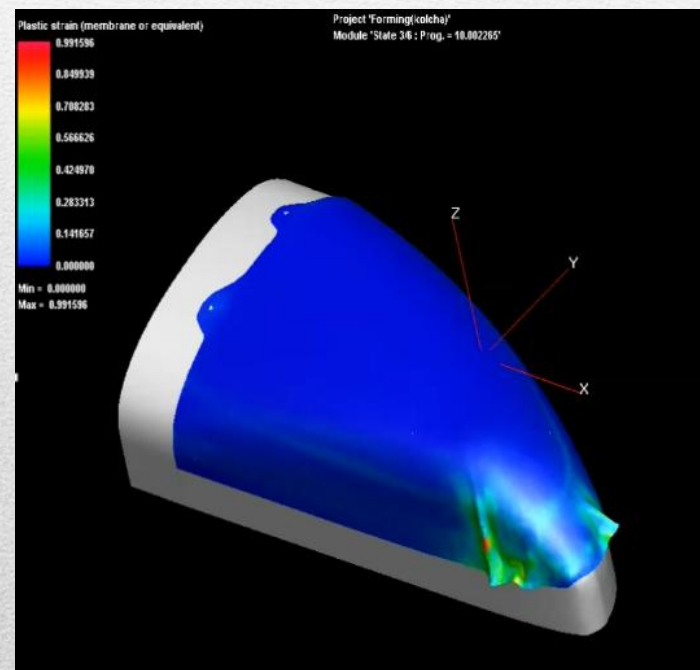
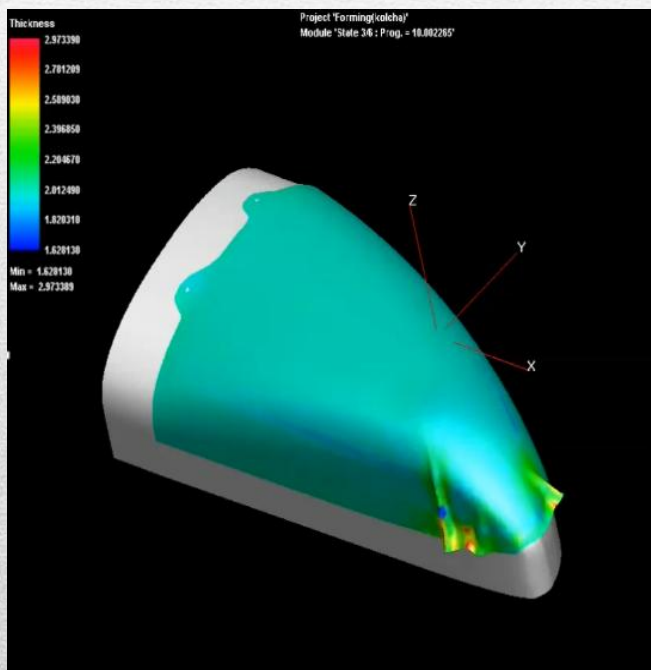
- используется 2 ШО;
- формообразование ведется за три перехода;
- используется две подкладных пластины разной высоты по периметру формовки;

6 вариант

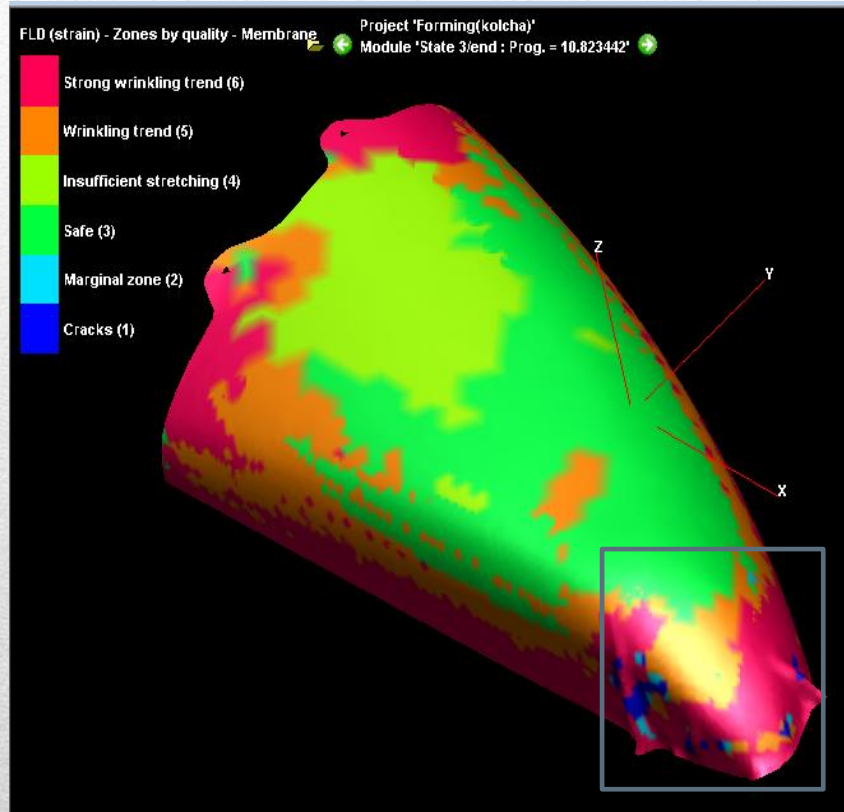
Эластоформование с подкладными пластинами

Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 2,97 мм.
Минимальная толщина - 1,62 мм.
Утонение - 19%

Степень деформации
максимальная деформация – 99%



Выводы по эластоформованию с подкладными пластинами



- формовка с подкладными пластинами позволяет частично контролировать образование гофра;
- диаграмма ограничений формовкости показывает появление трещин в носовой части детали (синие зоны);
- на калибровочном третьем переходе возникают дефекты типа «складка»;
- утонение меньше 20% (19%);
- максимальные деформации (99%) превышают 20% .

Рекомендация: использовать большее количество подкладных пластин и увеличить угол их основания в направлении хода формообразования.

7 вариант

Эластоформование с шестью подкладными пластинами, имеющими угол на рабочей поверхности

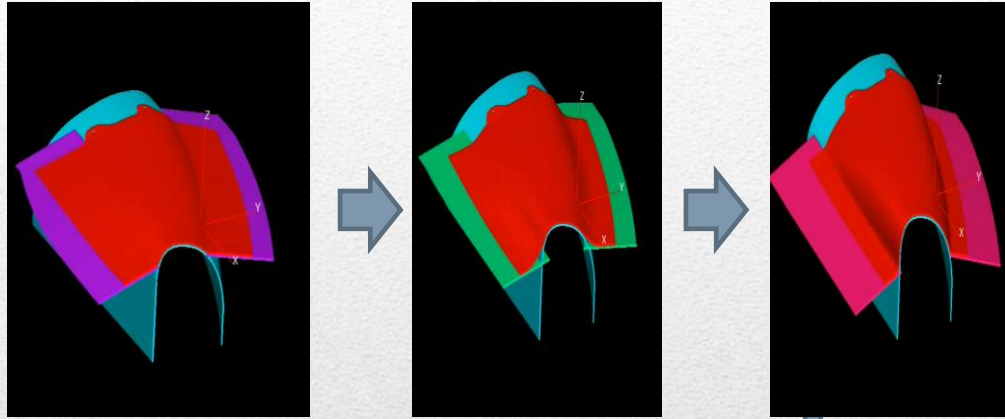
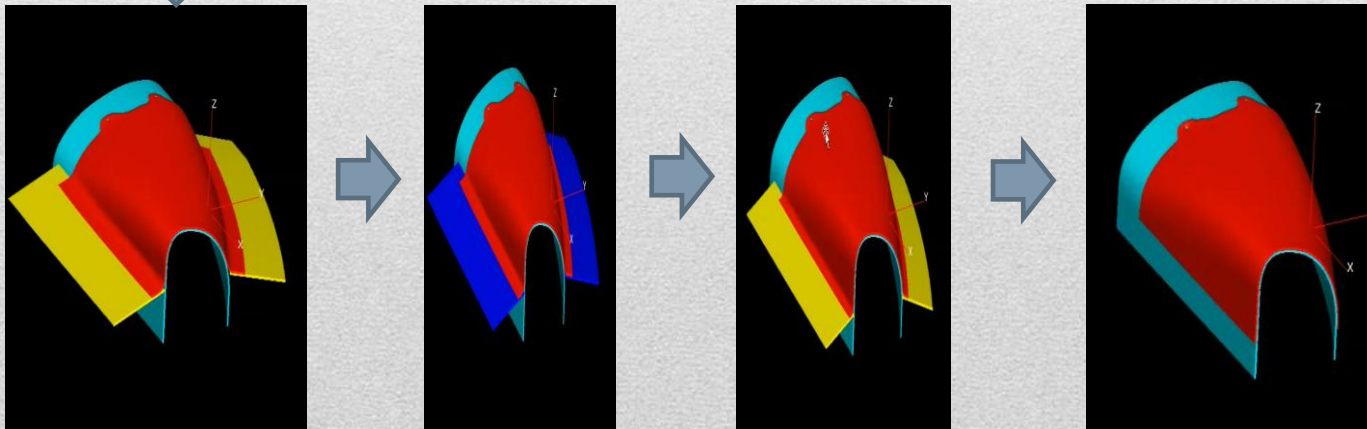


Схема формообразования:

- используются 2 ШО;
- формообразование ведется за семь переходов без термообработки;
- используется шесть подкладных пластин с углом наклона рабочей поверхности.

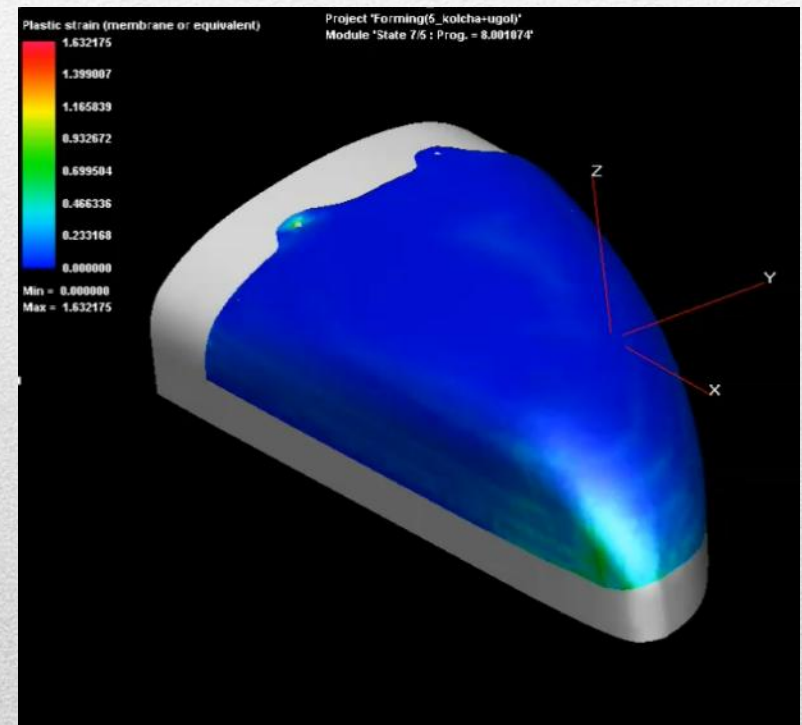
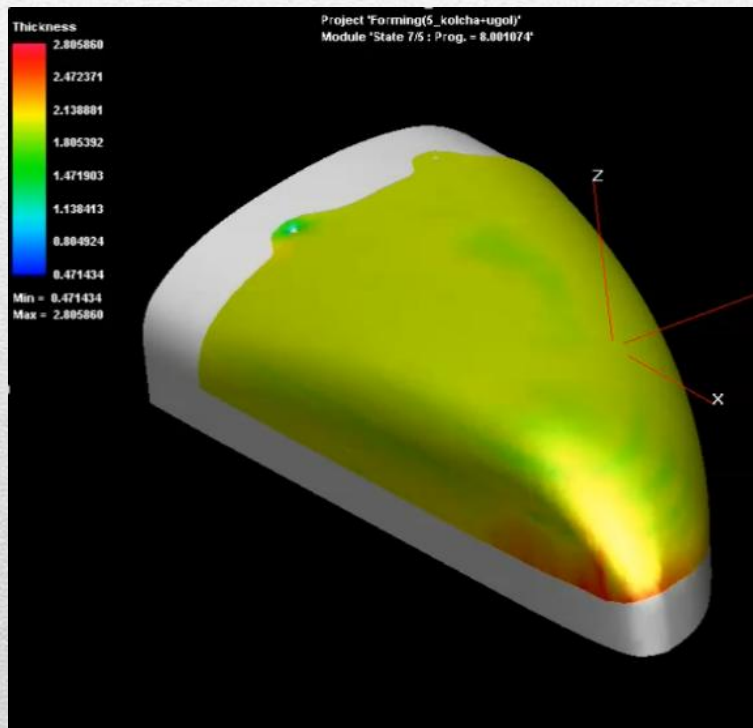


7 вариант

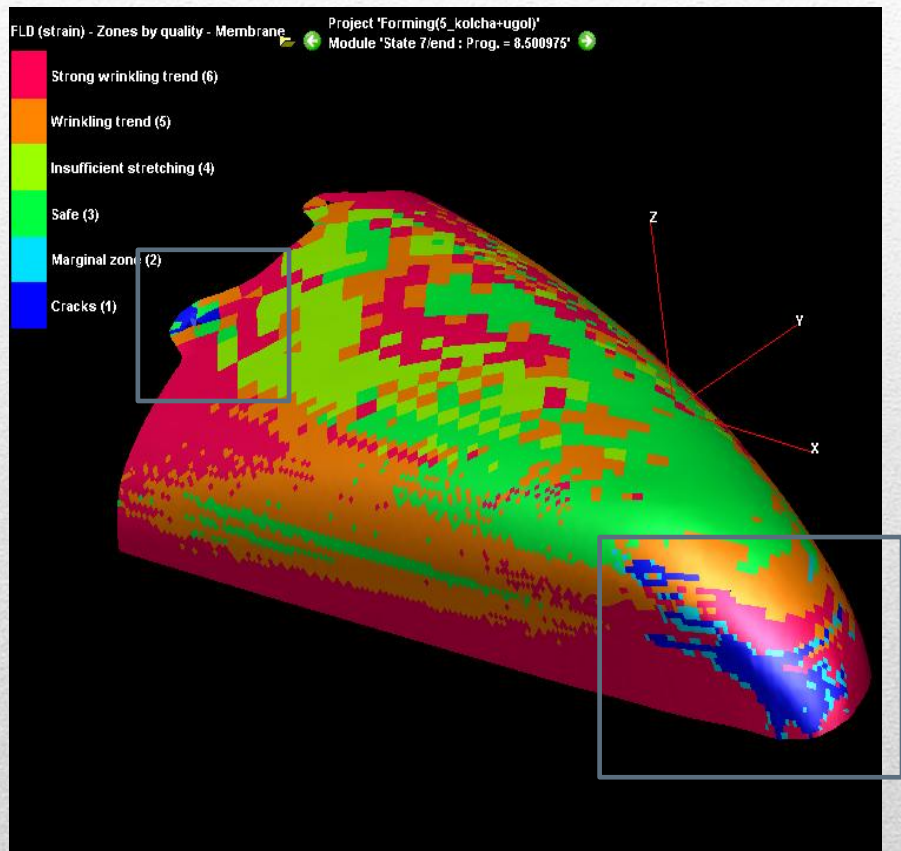
Эластоформование с шестью подкладными пластинами, имеющими угол наклона рабочей поверхности

Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 2,80 мм.
Минимальная толщина - 0,47 мм.
Утонение – 76,5 %

Степень деформации
максимальная деформация – 162%



Выводы по эластоформованию с большим количеством подкладных пластин, имеющих угол наклона рабочей поверхности



- формовка с большим количеством подкладных пластин позволяет намного уменьшить высоту гофра, образующегося в процессе формовки;
- диаграмма ограничений формуемости показывает появление трещин в носовой части детали и в одном из ШО (синие зоны);
- в процессе формовки не появляется дефект типа «складка»;
- угол наклона рабочей поверхности пластины работает не эффективно;
- утонение больше 20% (76,5%);
- максимальные деформации (162%) превышают 20% .

Рекомендация: использовать подкладные пластины с плоской рабочей поверхностью и учесть положительные стороны всех рассмотренных вариантов, использовать промежуточные термообработки.

8 вариант

Эластоформование с увеличением количества подкладных пластин, термообработкой и крышкой формблока

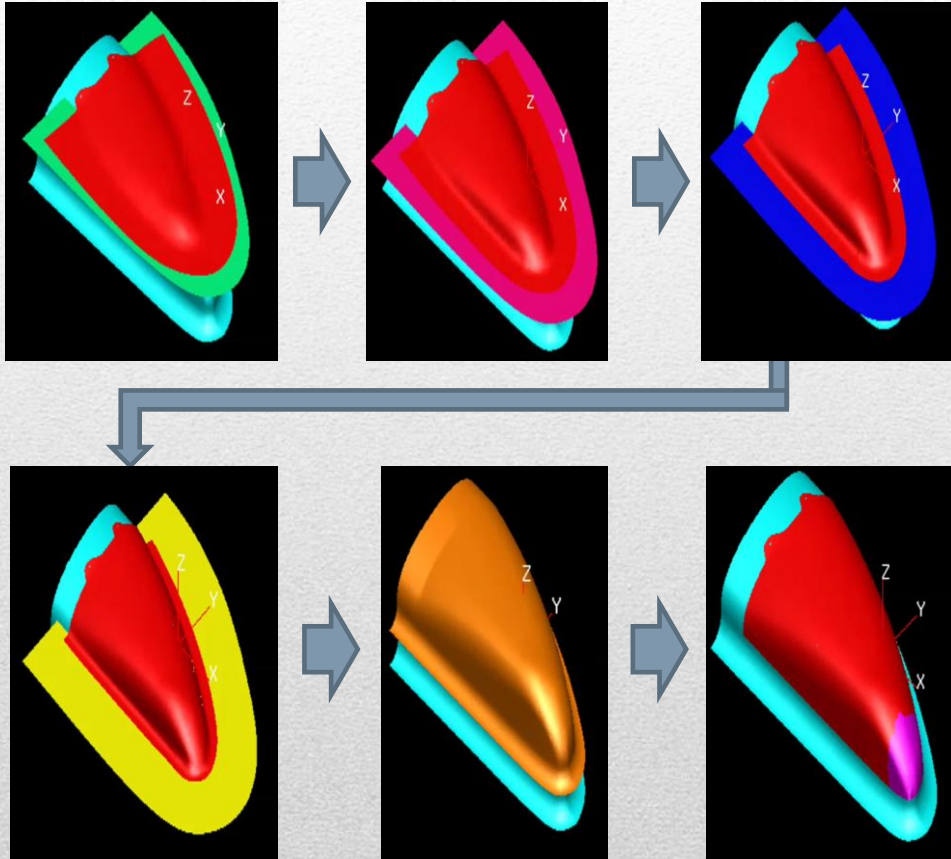


Схема формообразования:

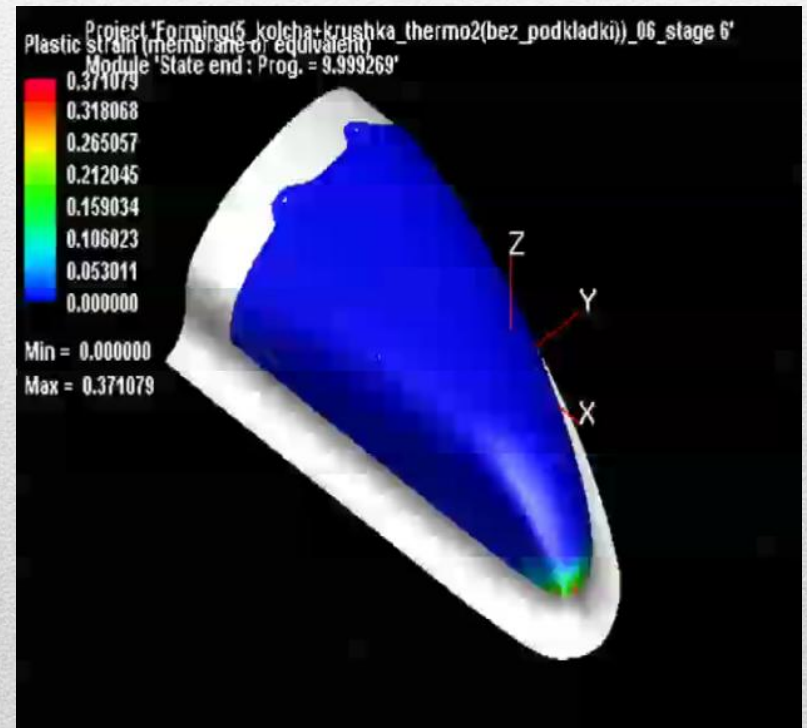
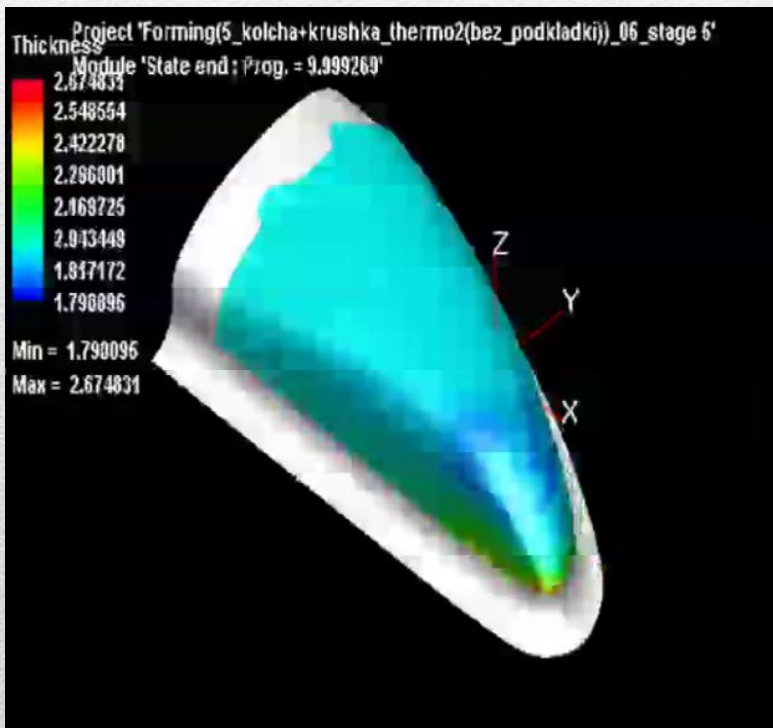
- используется 2 ШО;
- формообразование ведется за семь переходов;
- используется шесть подкладных пластин с плоской рабочей поверхностью (т.е. смоделирован процесс формообразования за шесть переходов + калибровочный);
- используется крышка для формблока на пятом переходе;
- проводится 4 промежуточных термообработки:
 - после 2 перехода;
 - после 3 перехода;
 - после 4 перехода;
 - после 5 перехода.

8 вариант

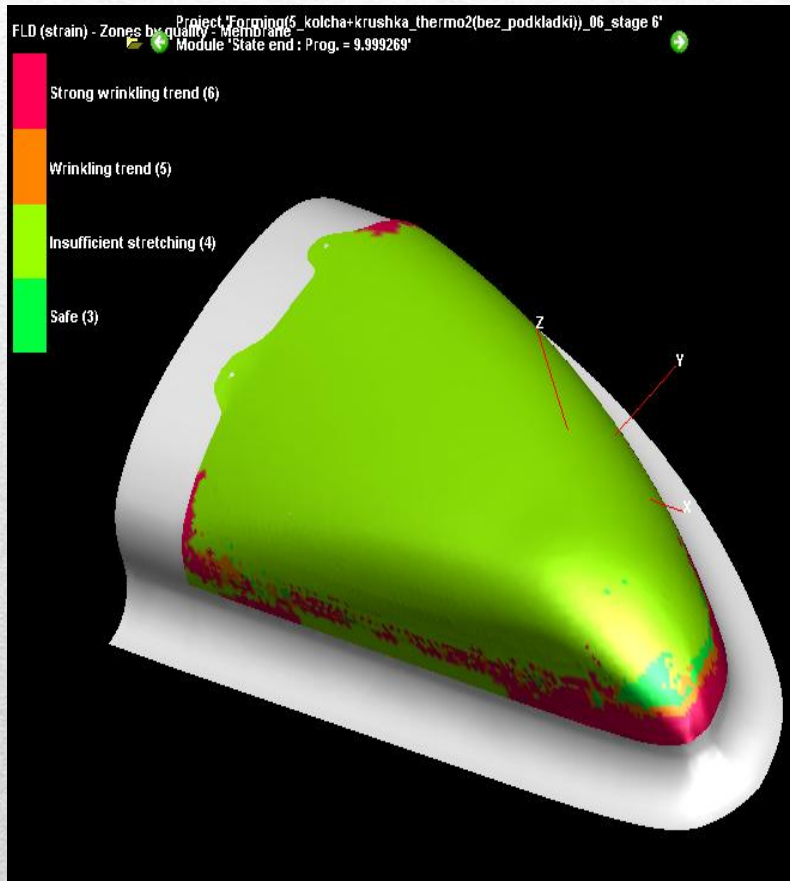
Эластоформование с большим количеством подкладных пластин, термообработкой и крышкой

Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 2,67 мм.
Минимальная толщина - 1,79 мм.
Утонение – 10,5 %

Степень деформации
максимальная деформация – 37%



Выводы по эластоформованию с большим количеством подкладных пластин и крышкой формблока



- формовка с большим количеством подкладных пластин позволяет намного уменьшить высоту гофра, образующегося в процессе формообразования;
- диаграмма ограничений формуемости не показывает появления трещин (синих зон) в ходе формообразования;
- не появляется дефект типа «складка»;
- утонение меньше 20% (10,5%);
- максимальные деформации (18 %) на пяти переходах не превышают 20%;
- максимальные деформации на шестом переходе составили 37 %, но это деформации сжатия, а на сжатие деформационный предел материала в два раза выше, т.е. 40 % (это подтверждает диаграмма ограничений формуемости, в которой отсутствуют синие зоны, отвечающие за образование трещин).

Рекомендация : данный способ возможен при изготовлении детали

9 вариант

Эластоформование с большим количеством крышек формблока, ограниченных на разную высоту

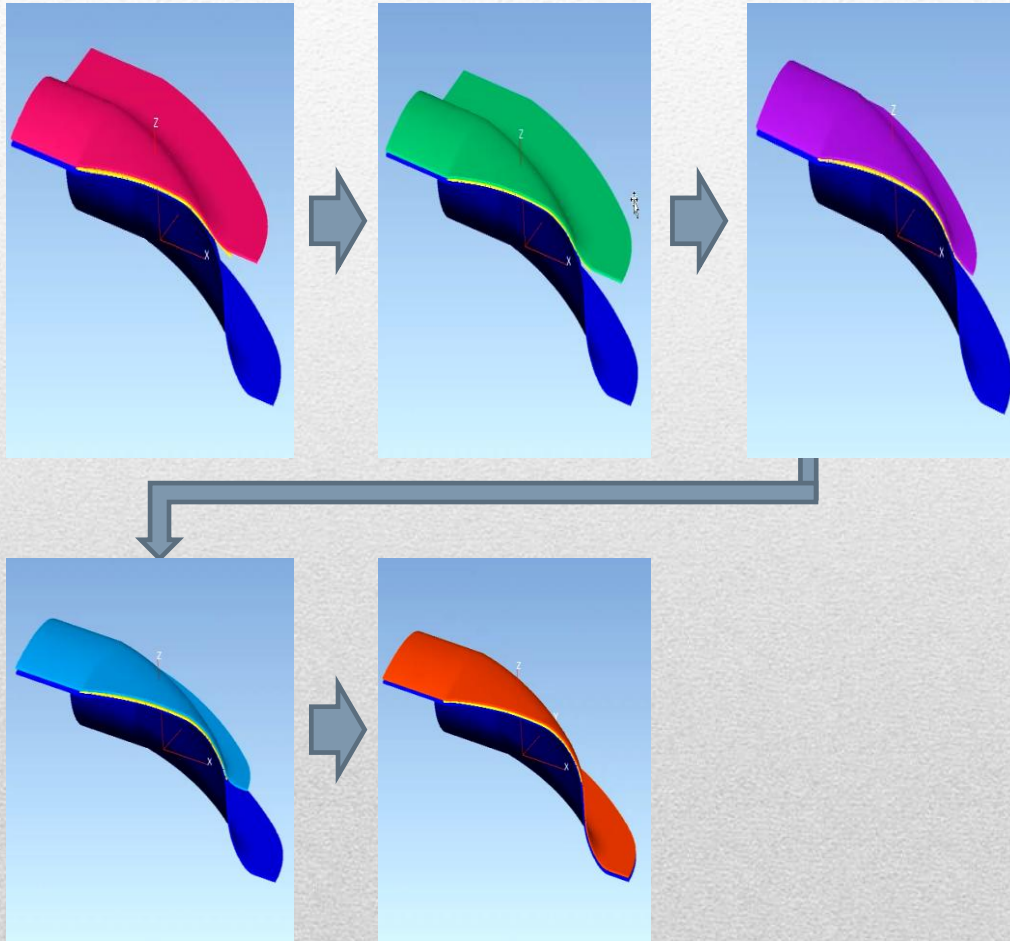


Схема формообразования:

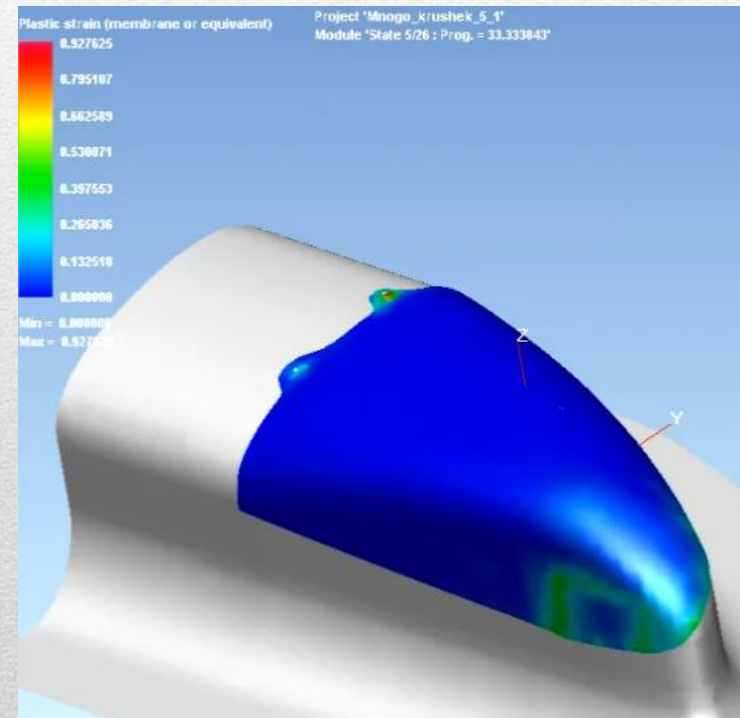
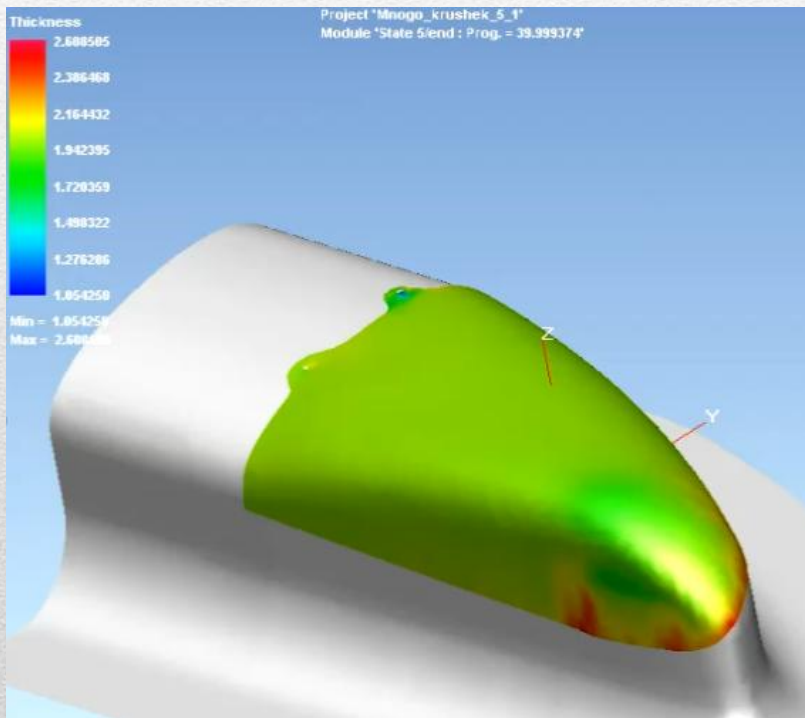
- используется 2 ШО;
- ШО полностью не зафиксированы (запрещены перемещения вдоль оси XY и разрешены перемещения по оси Z);
- формообразование ведется за пять переходов;
- пять крышек формблока, ограниченных формой по высоте.

9 вариант

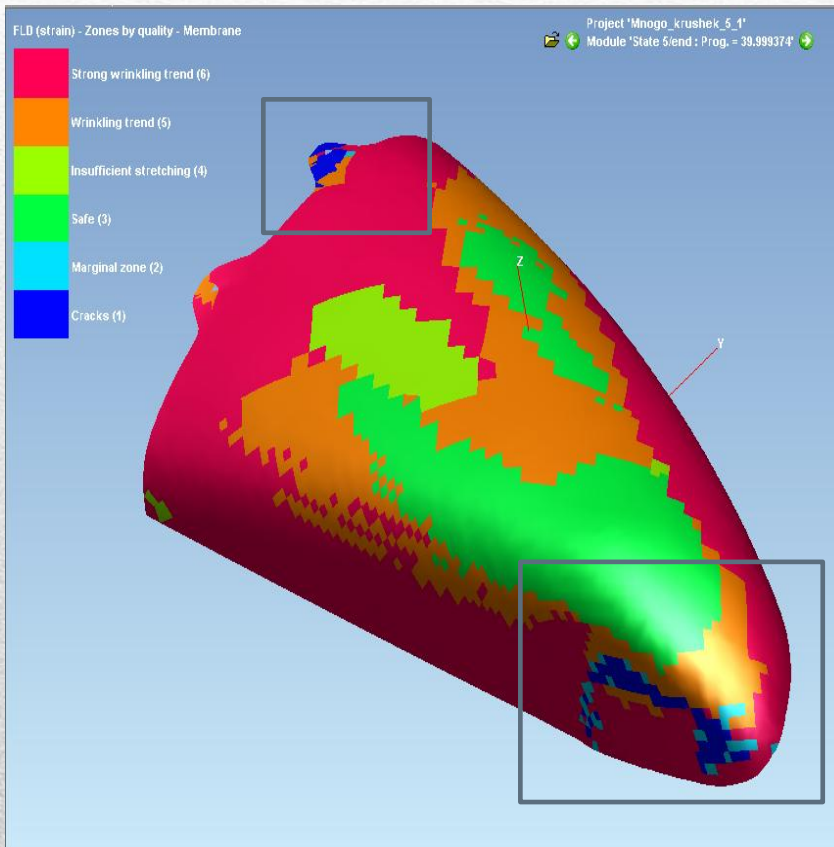
Эластоформование с большим количеством крышек формблока, ограниченных по высоте

Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 2,608 мм.
Минимальная толщина - 1,054 мм.
Утонение – 47,3 %

Степень деформации
максимальная деформация – 92%



Выводы по эластоформованию с большим количеством крышек формблока, ограниченных по высоте



- формовка с большим количеством крышек не дает возможности образоваться высоким гофрам;
- появляющиеся гофры осаживаются крышками формблока;
- в месте вертикального борта гофры не садятся, а срезаются крышкой, ввиду геометрической формы, это приводит к росту деформации в этой области;
- диаграмма ограничений формуемости показывает появление трещин (синих зон) в месте перехода в плоский борт детали и на одном из ШО;
- не появляется дефект типа «складка»;
- присутствует движение ШО вверх в начале каждого перехода, что может привести к потере контакта отверстий со шпильками;
- утонение больше 20% (47,3%);
- максимальные деформации (92 %) на пяти переходах не превышают 20%.

Рекомендация: добавление промежуточных термообработок. Для предотвращения потери контакта шпильки и отверстия необходимо на всех переходах кроме первого жестко закрепить отверстия на шпильках.

10 вариант

Эластоформование с большим количеством крышек формблока, ограниченных по высоте, с применением термообработок и зафиксированными ШО

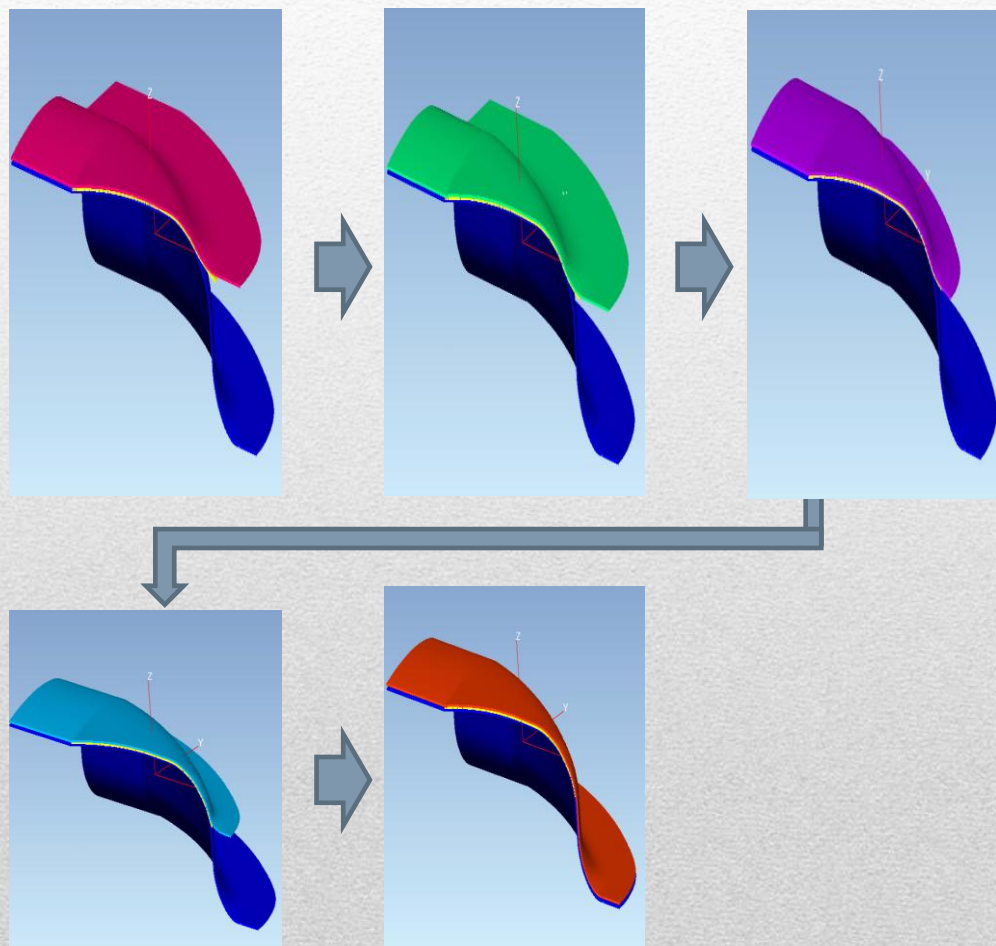


Схема формообразования:

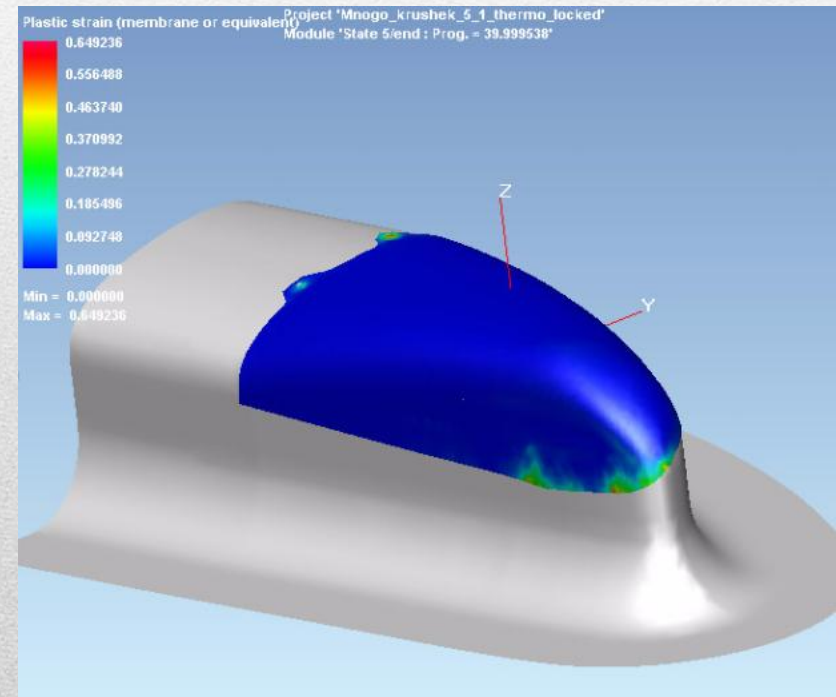
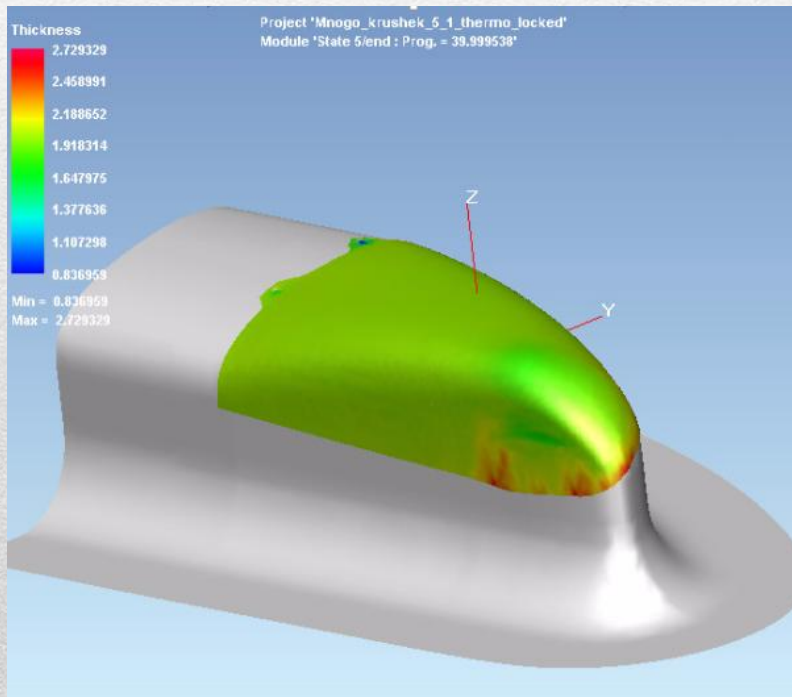
- используется 2 ШО;
- ШО полностью не зафиксированы на первом переходе (ограничены перемещения вдоль оси XY и разрешены перемещения по оси Z);
- на последующих четырех переходах ШО полностью зафиксированы (ограничены перемещения по всем осям);
- формообразование ведется за пять переходов;
- пять крышек формблока, ограниченных по высоте ;
- термообработка после каждого перехода (всего четыре термообработки).

10 вариант

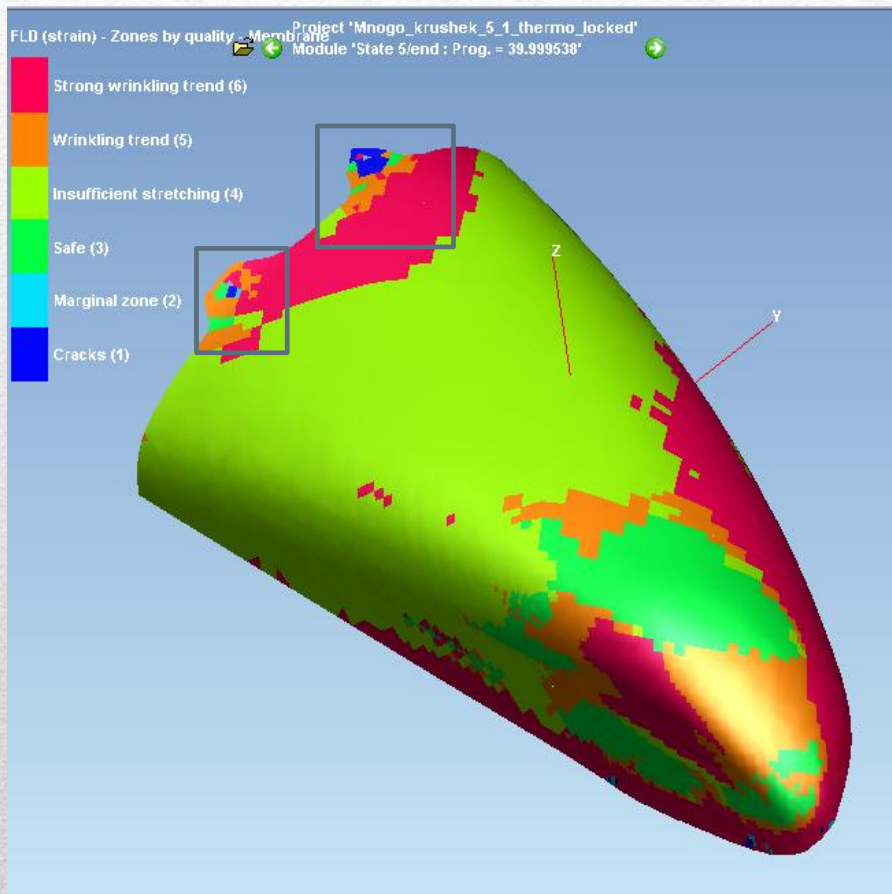
Эластоформование с большим количеством крышек формблока, ограниченных по высоте, с применением термообработки и зафиксированными ШО

Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 2,729 мм.
Минимальная толщина - 0,83 мм.
Утонение – 58,5 %

Степень деформации
максимальная деформация – 64%



Выводы по эластоформованию с большим количеством крышек формблока, ограниченных по высоте, с применением термообработки и зафиксированными ШО



- формовка с большим количеством крышек формблока не дает возможности образоваться высоким гофрам;
- появляющиеся гофры осаживаются крышками;
- диаграмма ограничений формруемости показывает появление трещин (синих зон) на ШО;
- не появляется дефект типа «складка»;
- утонение больше 20% (58,5%);
- максимальные деформации (64%) на пяти переходах превышают 20%.

Рекомендация: исследовать другие способы формообразования, такие как вытяжка в штампе.

11 вариант

Вытяжка в жестких штампах с применением прижима с постоянным большим усилием и малым зазором между пуансоном и заготовкой

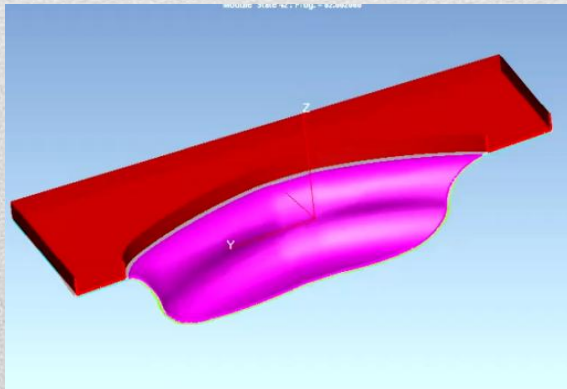
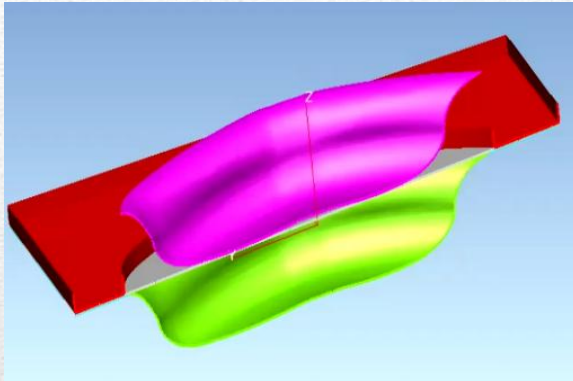


Схема формообразования:

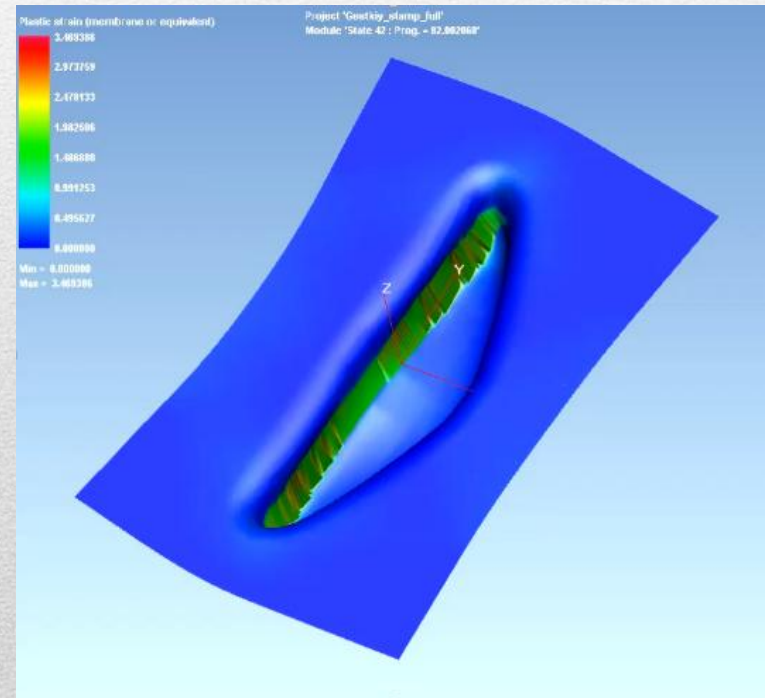
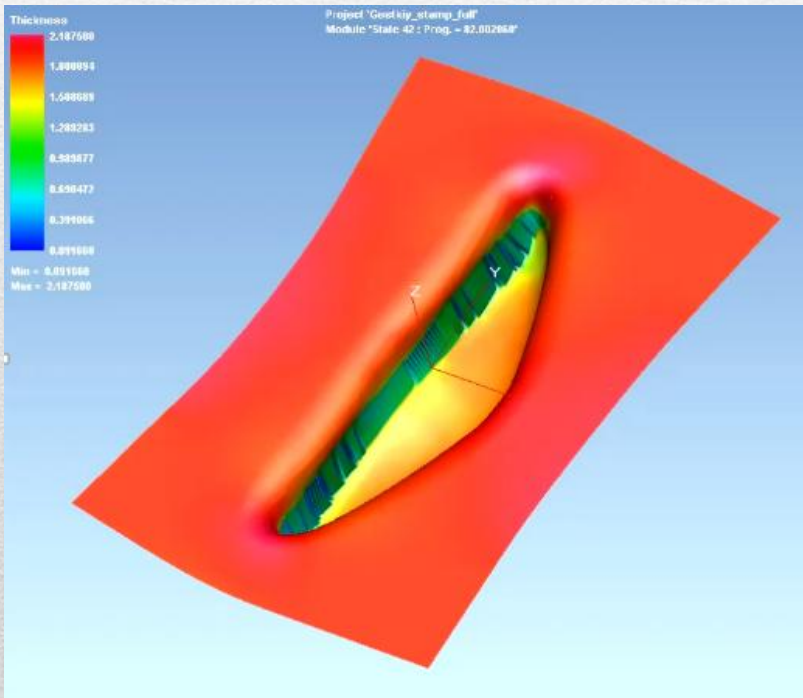
- Для осуществления вытяжки создан замкнутый симметричный контур соединением двух деталей;
- пуансон, полученный эквидистантным смещением внешней поверхности оснастки на 2,6 мм (зазор между заготовкой и пуансоном 0,6 мм.);
- используется прижим фланца с постоянным усилием в 100Н ;
- нет промежуточных термообработок.
- коэффициент трения Амонтона — Кулона — 0.15

11 вариант

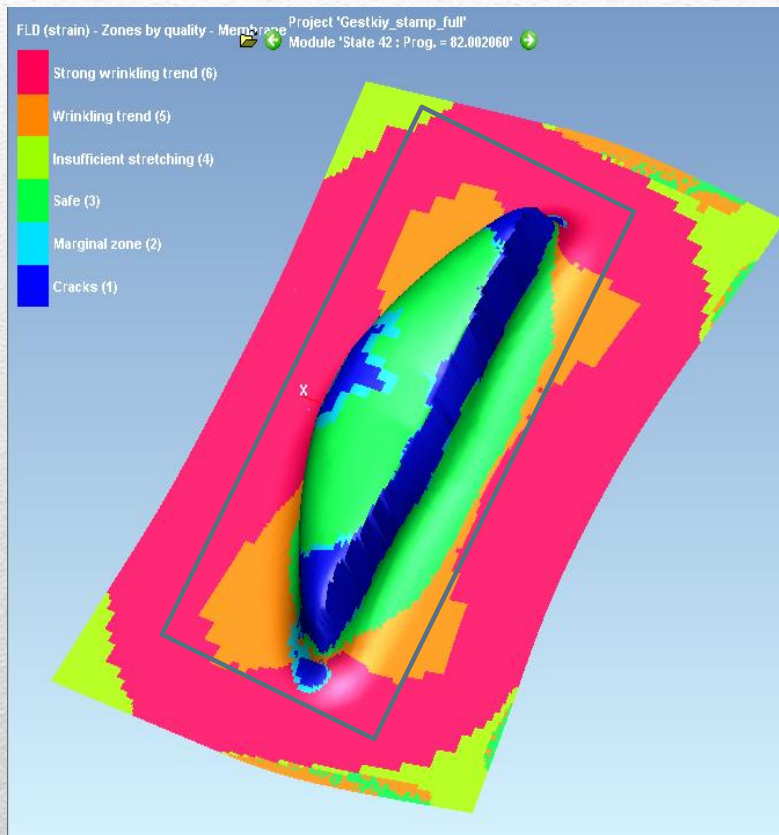
Вытяжка в жестких штампах с применением прижима с постоянным большим усилием и малым зазором между пуансоном и заготовкой

Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 2,18 мм.
Минимальная толщина - 0,09 мм.
Утонение – 95 %

Степень деформации
максимальная деформация – 346%



Выводы по вытяжке в жестких штампах с применением прижима с постоянным большим усилием и малым зазором между пуансоном и заготовкой



- вытяжка с большой силой на прижиме ограничивает перемещение заготовки в очаг деформации;
- ввиду недостаточности зазора между заготовкой и прижимом заготовка в ходе формообразования была зажата между элементами оснастки (так называемый эффект «зажатия»);
- происходит сильное растяжение по всему контуру детали, что значительно увеличивает степень деформации;
- диаграмма ограничений формуемости показывает появление трещин (синих зон) в ходе вытяжки на дне детали (так называемый «отрыв дна»);
- утонение больше 20% (95%);
- максимальные деформации (346%) превышают 20%.

Рекомендация : уменьшить величину усилия на прижиме для обеспечения перемещения заготовки в матрицу. Увеличить величину зазора между пуансоном и заготовкой для устранения эффекта «зажатия».

12 вариант

Вытяжка в жестких штампах с применением прижима с постоянным малым усилием и большим зазором между пуансоном и заготовкой

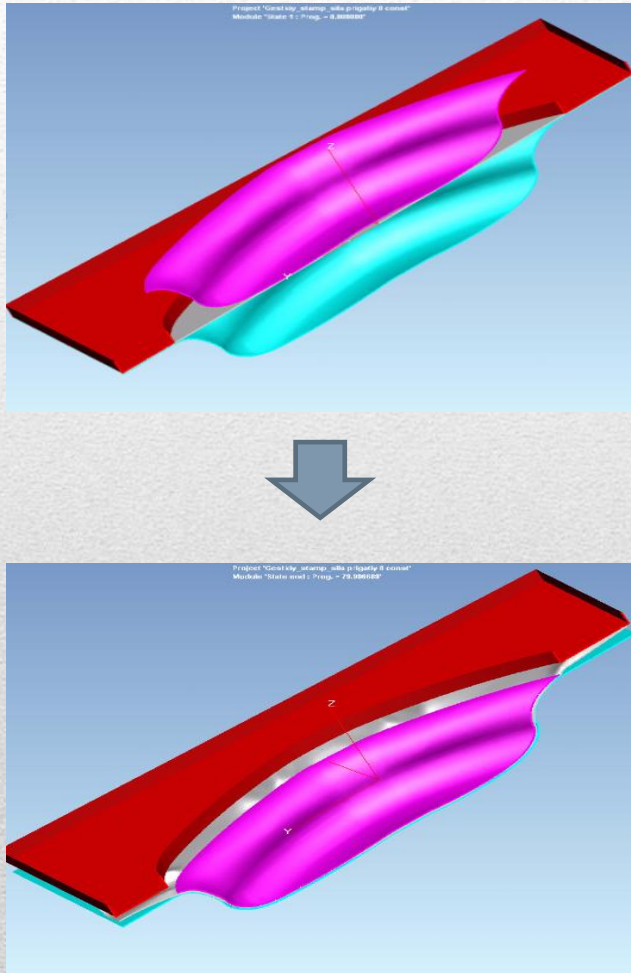


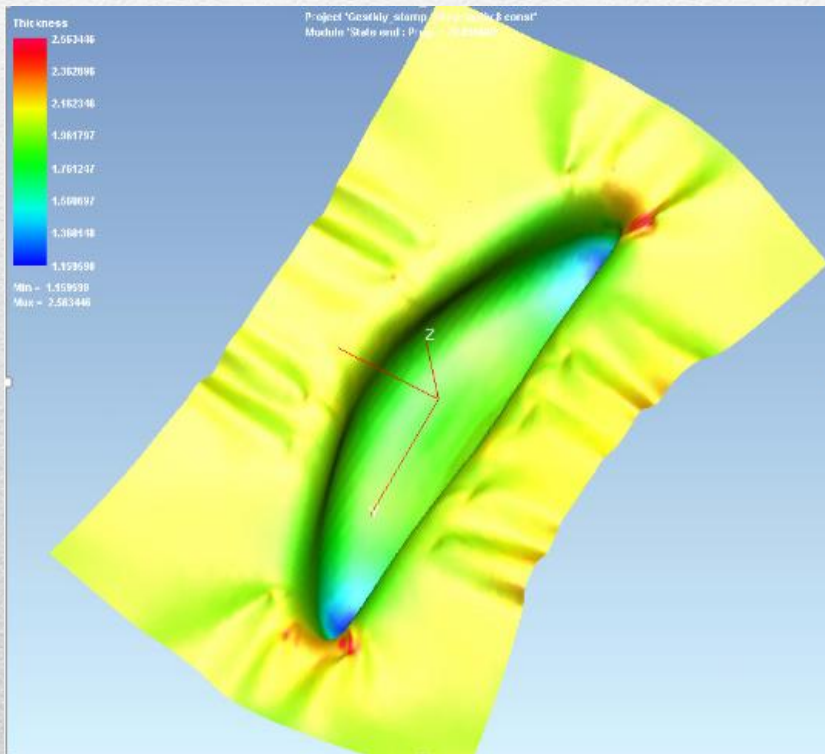
Схема формообразования:

- для осуществления вытяжки создан замкнутый симметричный контур соединением двух деталей;
- пуансон, получен эквидистантным смещением внешней поверхности оснастки на 3 мм (зазор между заготовкой и пуансоном 1 мм);
- используется прижим с постоянным усилием в 8Н;
- нет промежуточных термообработок;
- коэффициент трения Амонтона — Кулона — 0.15.

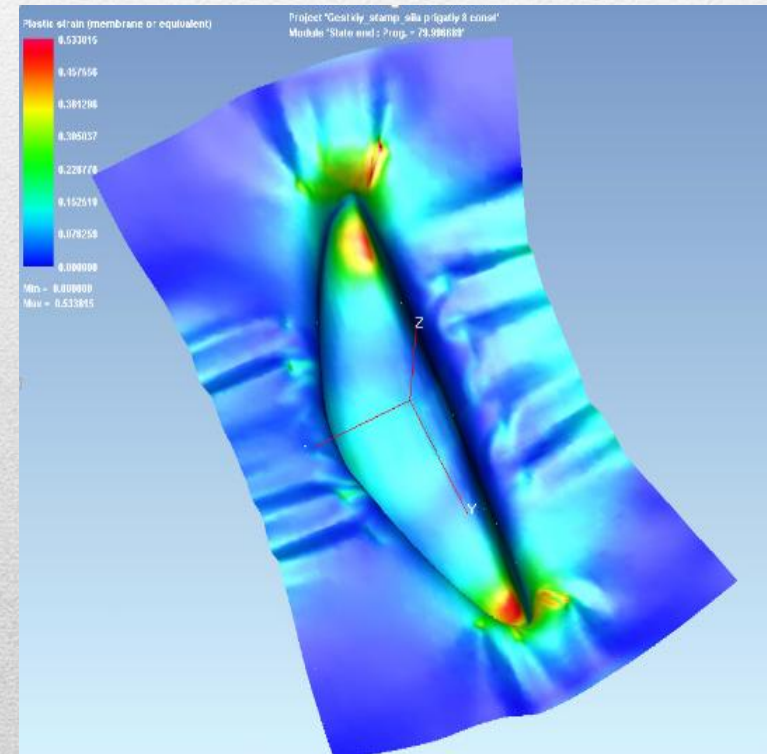
12 вариант

Вытяжка в жестких штампах с применением прижима с постоянным малым усилием и большим зазором между пуансоном и заготовкой

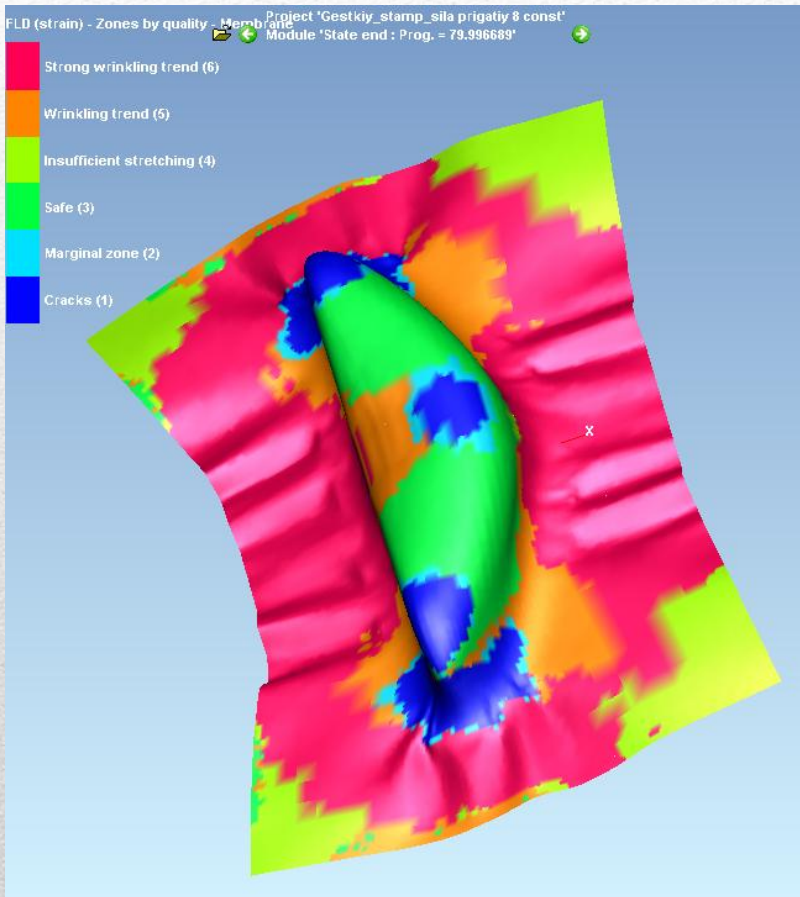
Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 2,156 мм.
Минимальная толщина - 1,15 мм.
Утонение – 42 %



Степень деформации
максимальная деформация – 53%



Выводы по вытяжке в жестких штампах с применением прижима с постоянным малым усилием и большим зазором между пуансоном и заготовкой



- малая сила на прижиме не удерживает заготовку и на ней появляются гофры;
- увеличение зазора между заготовкой и пуансоном позволяет избежать эффекта «зажатия» в ходе формообразования;
- диаграмма ограничений формуемости показывает появление трещин (синих зон) в ходе вытяжки в носике и в середине дна детали;
- утонение больше 20% (42%);
- максимальные деформации (53%) превышают 20%.

Рекомендация : величину усилия на прижиме сделать не постоянной, а изменяющейся по ходу формообразования. Увеличить толщину заготовки, чтобы обеспечить требуемую толщину детали после формовки.

13 вариант

Вытяжка в жестких штампах с применением прижима с изменяющимся усилием, увеличенной толщиной заготовки и большим зазором между пуансоном и заготовкой

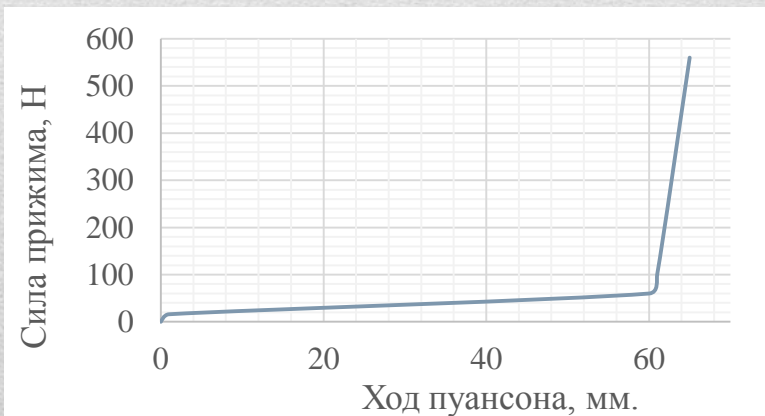
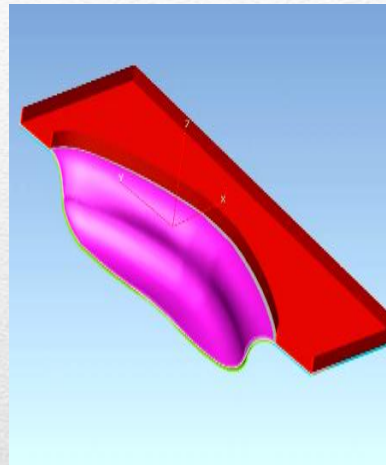
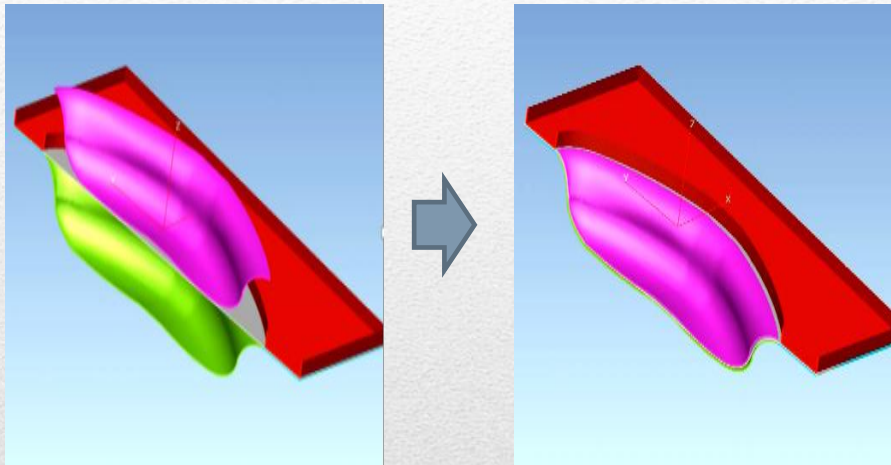


Схема формообразования:

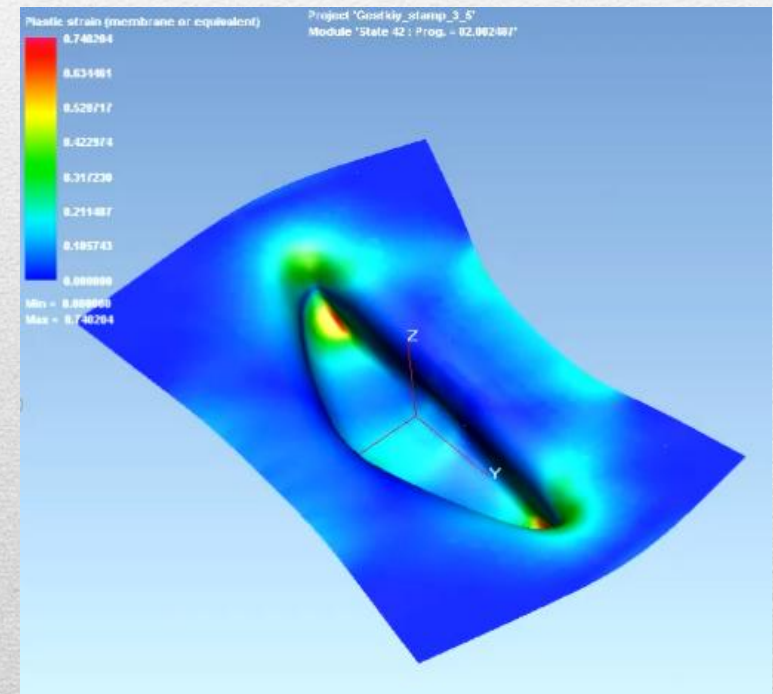
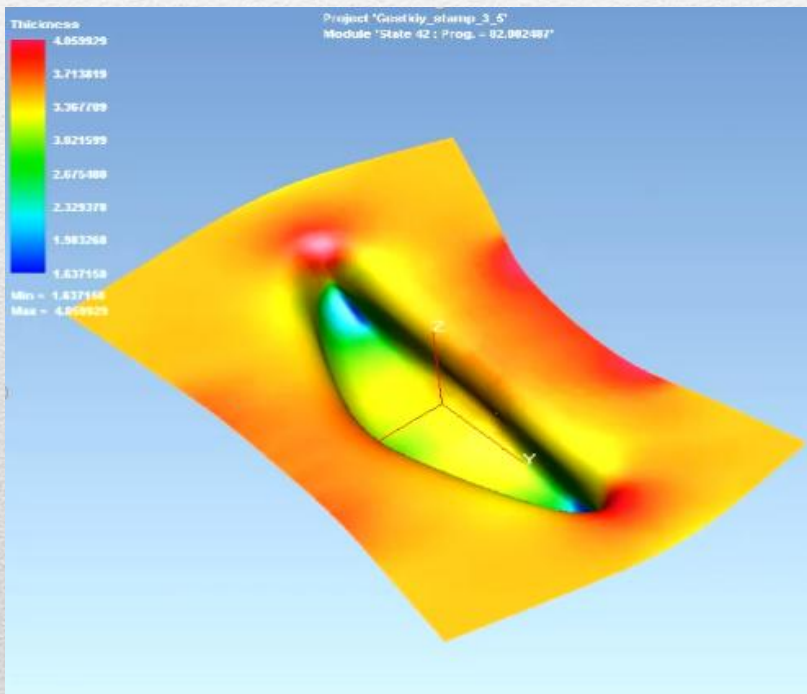
- используется заготовка толщиной 3,5 мм;
- для осуществления вытяжки создан замкнутый симметричный контур соединением двух деталей;
- пуансон, получен эквидистантным смещением внешней поверхности оснастки на 4,5 мм. (зазор между заготовкой и пуансоном 1 мм.);
- используется прижим с нарастающим усилием;
- коэффициент трения Амонтона — Кулона — 0.15

13 вариант

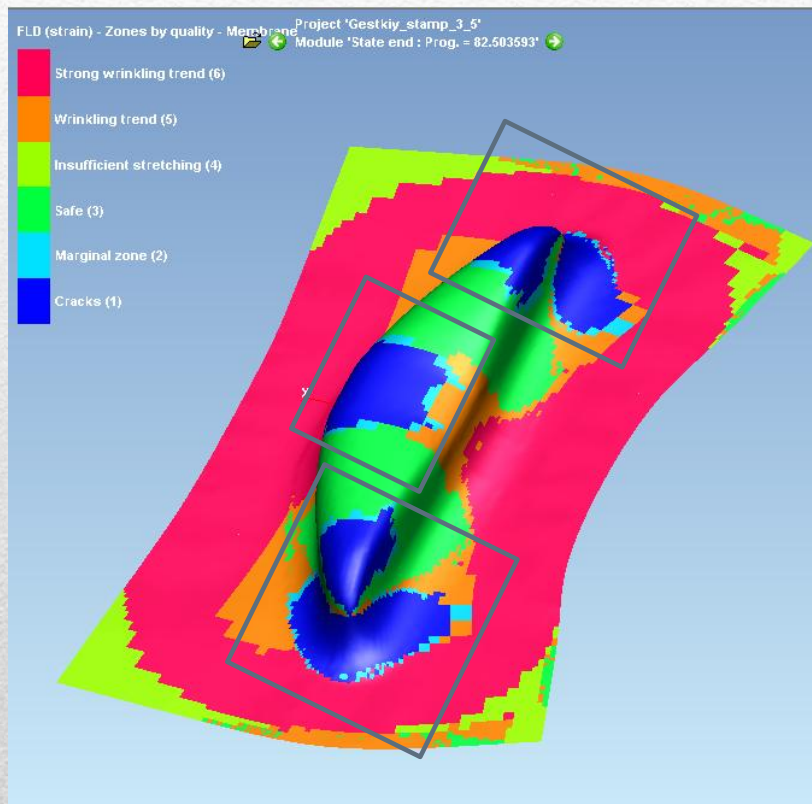
Вытяжка в жестких штампах с применением прижима с изменяющимся усилием, увеличенной толщиной заготовки и большим зазором между пуансоном и заготовкой

Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 4,05 мм.
Минимальная толщина - 1,63 мм.

Степень деформации
максимальная деформация – 74%



Выводы по вытяжке в жестких штампах с применением прижима с изменяющимся усилием, увеличенной толщиной заготовки и большим зазором между пуансоном и заготовкой



- вытяжка с изменяющейся силой прижима удерживает заготовку и на ней не появляются гофры, а также обеспечивает перемещение заготовки в очаг деформации;
- увеличение толщины заготовки позволило получить деталь с требуемой толщиной;
- диаграмма ограничений формоустойчивости показывает появление трещин (синих зон) в ходе вытяжки в носке и в середине детали;
- Толщина детали на 18,5% меньше заданной исходной 2 мм;
- максимальные деформации (74%) превышают 20%.

Рекомендация : разбить процесс на переходы и добавить промежуточные термообработки.

14 вариант

Вытяжка в жестких штампах с применением прижима с изменяющимся усилием, увеличенной толщиной заготовки, разбиением процесса на переходы с промежуточными термообработками, большим зазором между пуансоном и заготовкой

Положение пуансона в конце каждого перехода

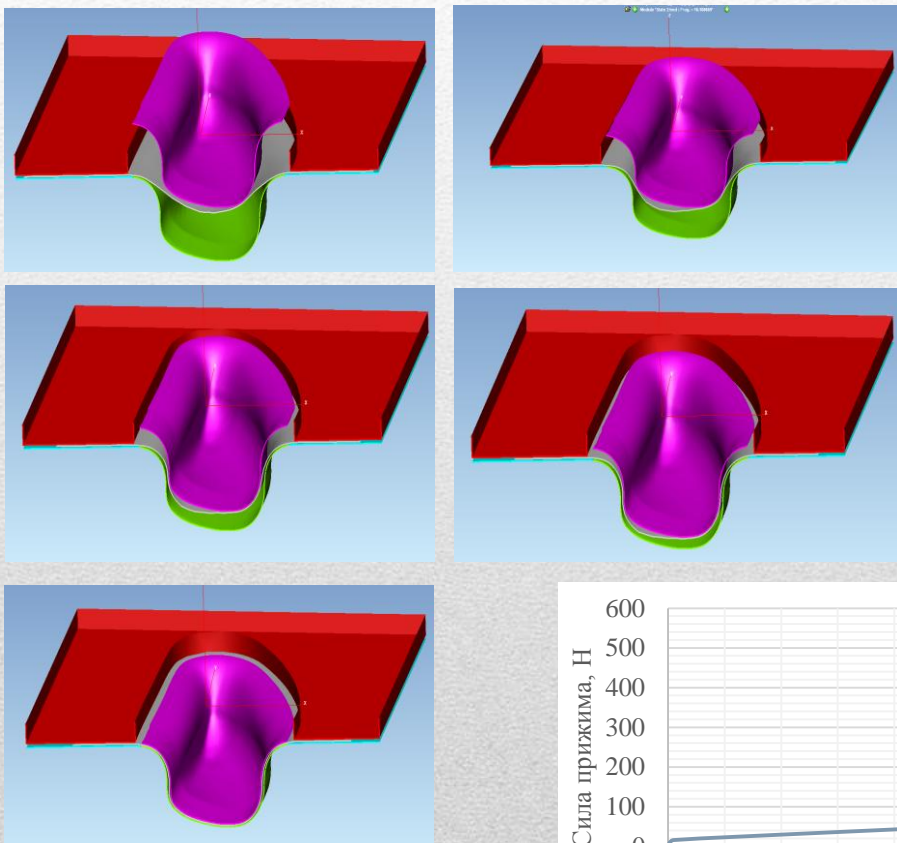
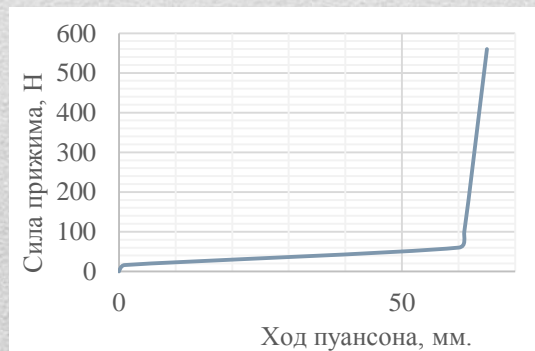


Схема формообразования:

- используется заготовка толщиной 3,5 мм;
- пуансон получен эквидистантным смещением внешней поверхности оснастки на 4,5 мм. (зазор между заготовкой и пуансоном 1 мм.);
- используется прижим с изменяющимся усилием;
- для осуществления вытяжки создан замкнутый симметричный контур соединением двух деталей, т.е. за одно формообразование получается две детали;
- процесс разбит на пять переходов по глубине хода пуансона:
 - 1 переход – 34 мм.
 - 2 переход – 16 мм.
 - 3 переход – 16 мм.
 - 4 переход – 8 мм.
 - 5 переход – 8 мм.
- после каждого перехода проводится термообработка (всего 4 термообработки);
- коэффициент трения Амонтона — Кулона – 0.15

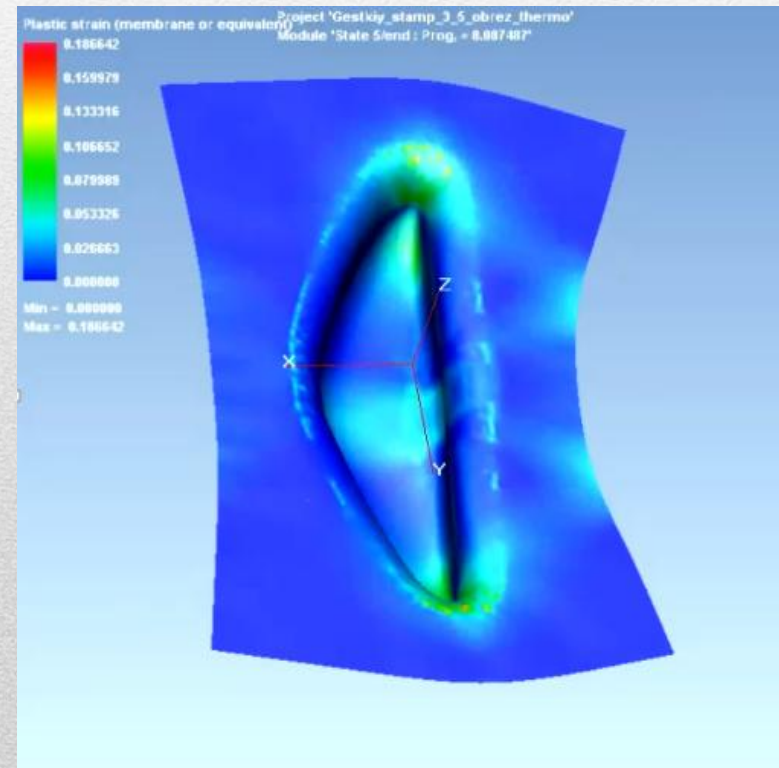
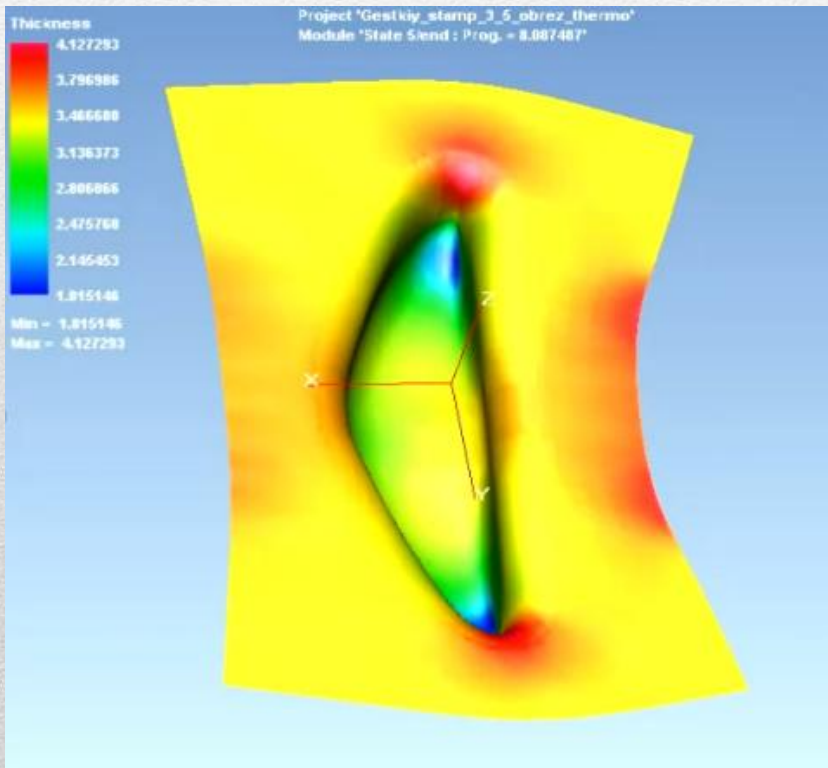


14 вариант

Вытяжка в жестких штампах с применением прижима с переменным усилием, увеличенной толщиной заготовки, разбиением на переходы и промежуточными термообработками, большим зазором между пуансоном и заготовкой

Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 4,05 мм.
Минимальная толщина - 1,81 мм.

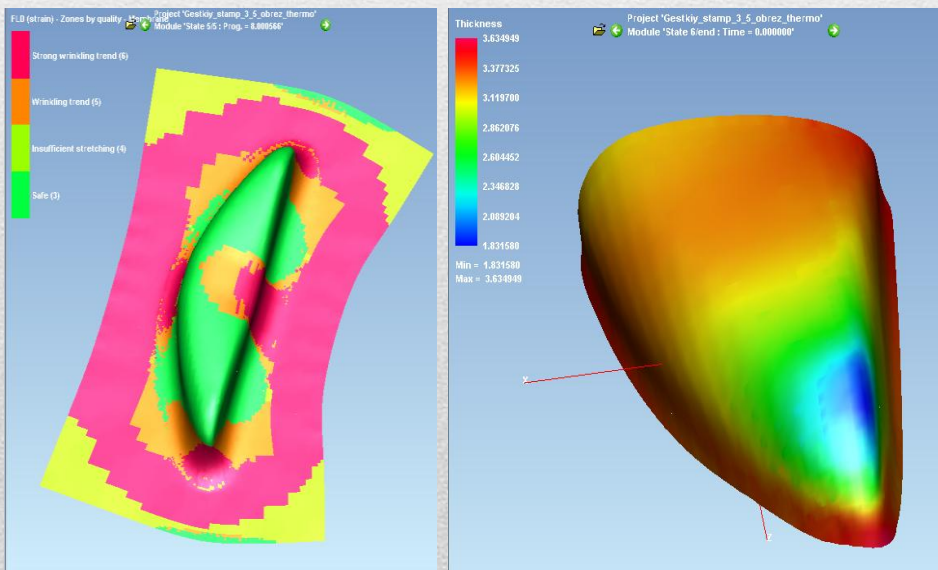
Степень деформации
максимальная деформация – 18%



Выводы по вытяжке в жестких штампах с применением прижима с изменяющимся усилием, увеличенной толщиной заготовки, разбиением на переходы и промежуточными термообработками, с большим зазором между пуансоном и заготовкой

Распределение толщин на детали
Максимальная толщина – 3,66 мм.
Минимальная толщина - 1,81 мм.

Теоритическая масса детали (т.е. толщина по всей детали равна 2 мм.) – 152 г.
Масса получившейся при моделировании детали из заготовки толщиной 3,5 мм– 296 г.



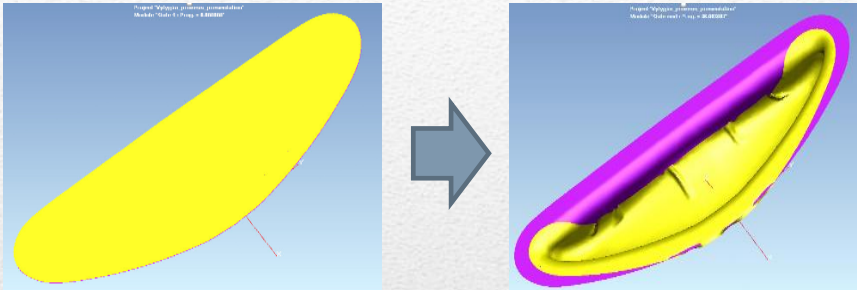
- прижим с изменяющейся силой удерживает заготовку и на ней не появляются гофры, а также обеспечивает перемещение заготовки;
- увеличение толщины заготовки позволило получить деталь с толщиной 1,81мм;
- добавление промежуточных термообработок позволило обеспечить допускаемую степень деформации;
- диаграмма ограничений формуемости не показывает появления трещин (синих зон) в ходе вытяжки в носике и в середине детали;
- максимальные деформации (18%) не превышают 20%.

Рекомендация : реализовать процесс вытяжки с помощью эластичной среды. Использовать рифт по контуру для повышения жесткости для предотвращения гофрообразования.

15 вариант

Вытяжка эластичной средой с использованием рифта по контуру заготовки

Вытяжка без рифта



Вытяжка с рифтом по контуру

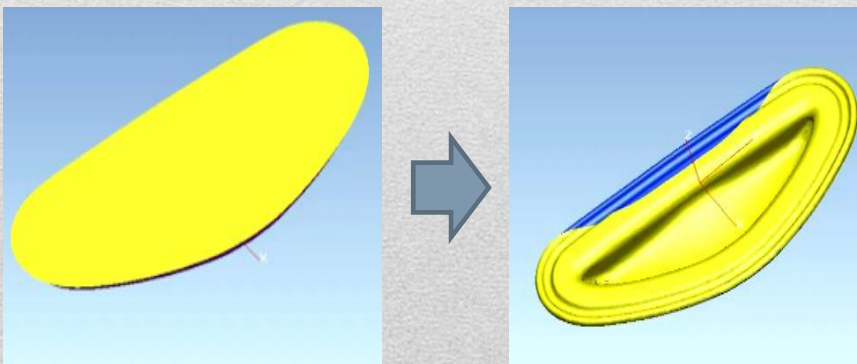
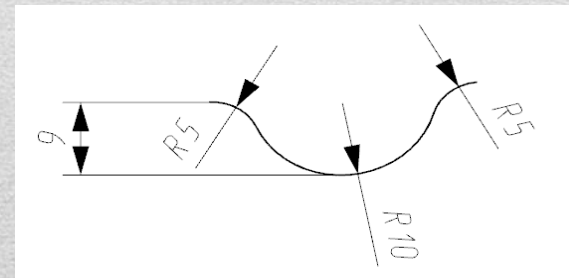


Схема формообразования:

- используется заготовка толщиной 2 мм;
- для осуществления вытяжки создан замкнутый симметричный контур соединением двух деталей, т.е. за одно формообразование получается две детали;
- процесс разбит на два перехода:
 - 1 переход - получение рифта по контуру;
 - 2 переход - формообразование детали
- нет промежуточных термообработок;
- коэффициент трения Амонтона — Кулона — 0.05



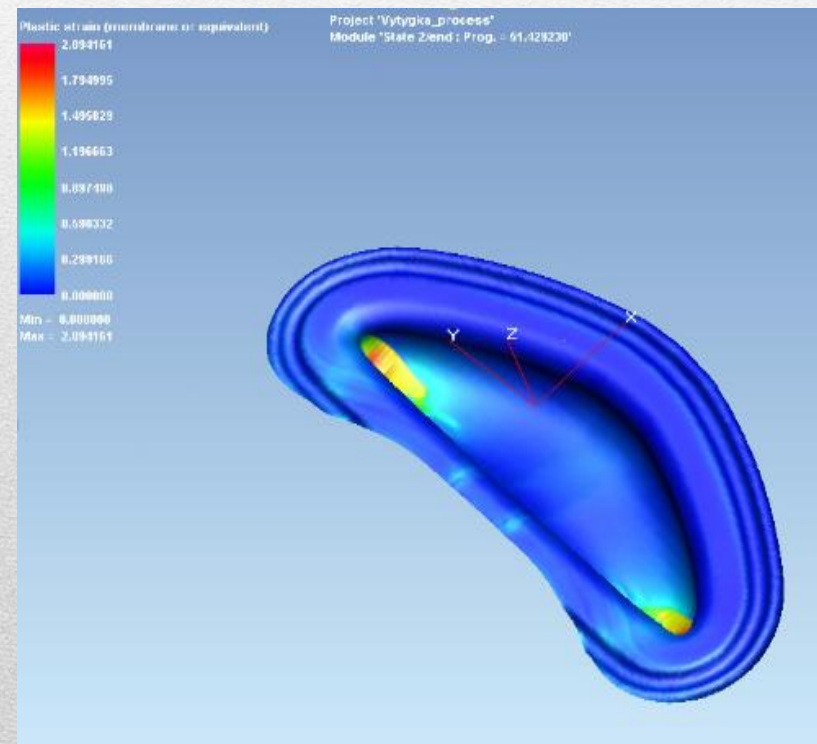
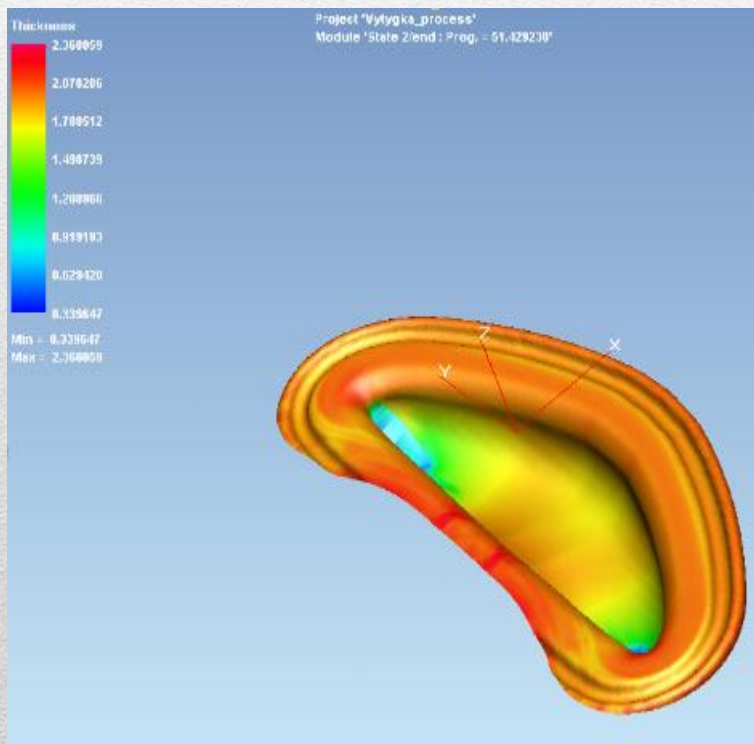
Сечение рифта

15 вариант

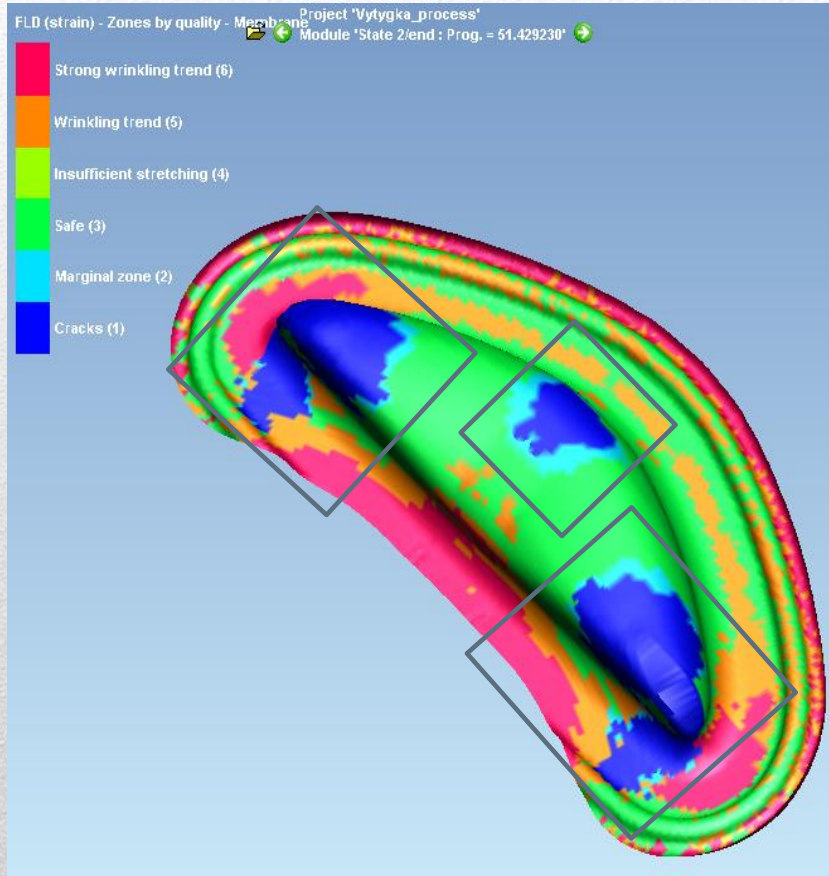
Вытяжка эластичной средой с использованием рифта по контуру заготовки

Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 2,36 мм.
Минимальная толщина - 0,33 мм.
Утонение – 83 %

Степень деформации
максимальная деформация – 209%



Выводы по вытяжке эластичной средой с использованием рифта по контуру заготовки



- рифт по контуру не дает образовываться гофрам;
- на носовой части детали жесткость избыточна и это препятствует перемещению материала в очаг деформации;
- диаграмма ограничений формовости показывает появление трещин (синих зон) в ходе вытяжки в носике и в середине детали;
- утонение больше 20% (83%);
- максимальные деформации (209%) превышают 20%.

Рекомендация : уменьшить жесткость рифта уменьшением размера сечения на выпуклых частях детали и уменьшить размер заготовки с целью понижения жесткости

16 вариант

Вытяжка эластичной средой с уменьшенной геометрией заготовки, с использованием рифта разного сечения по контуру заготовки

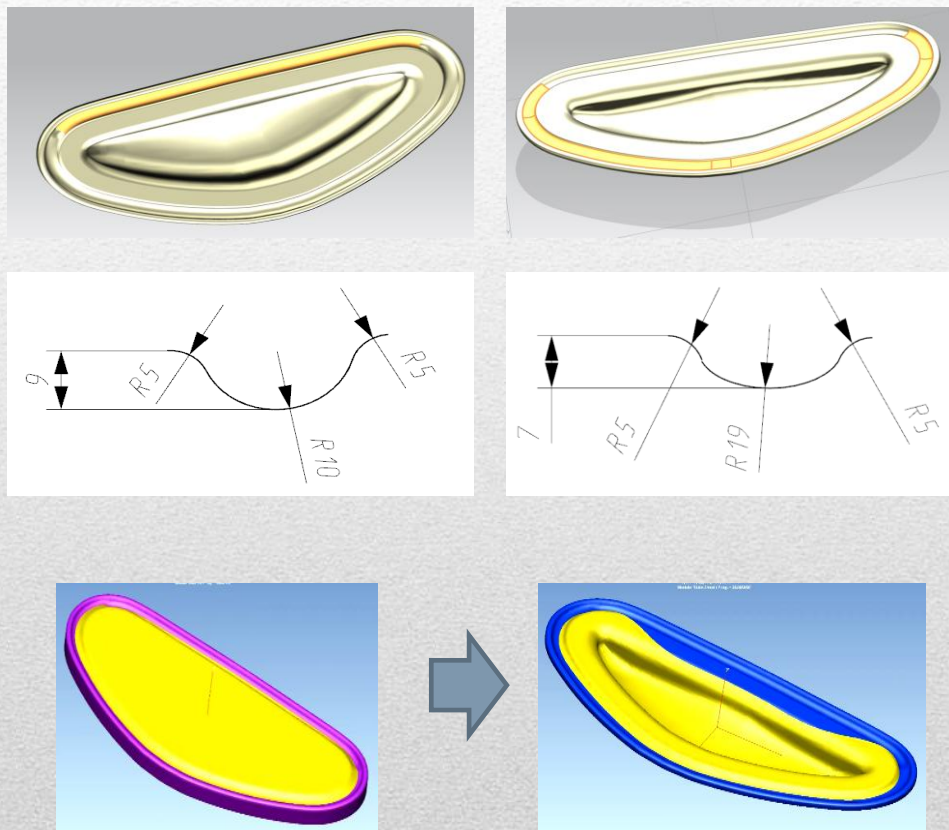


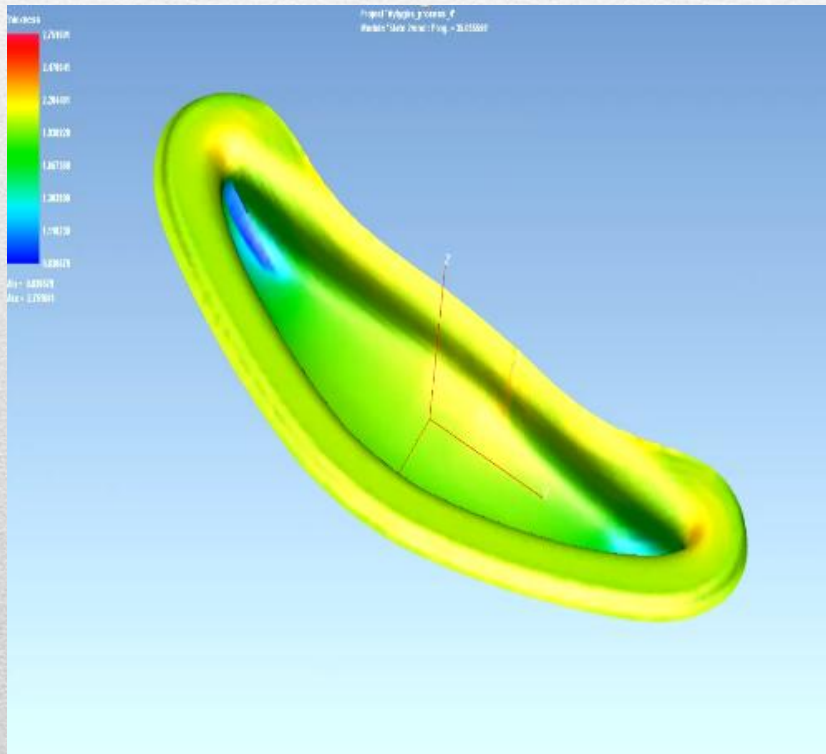
Схема формообразования:

- используется заготовка толщиной 2 мм;
- для осуществления вытяжки создан замкнутый симметричный контур соединением двух деталей, т.е. за одно формообразование получается две детали;
- процесс разбит на два перехода:
 - 1 переход - получение рифта по контуру;
 - 2 переход - формообразование детали;
- нет промежуточных термообработок;
- коэффициент трения Амонтона — Кулона — 0.05.

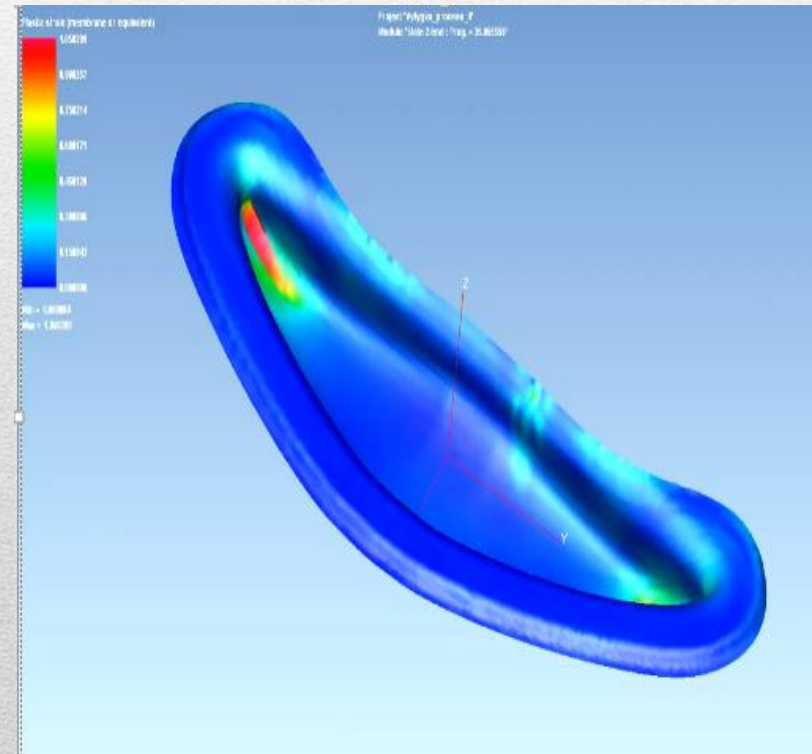
16 вариант

Вытяжка эластичной средой с уменьшенной геометрией заготовки, с использованием рифта разного сечения по контуру заготовки

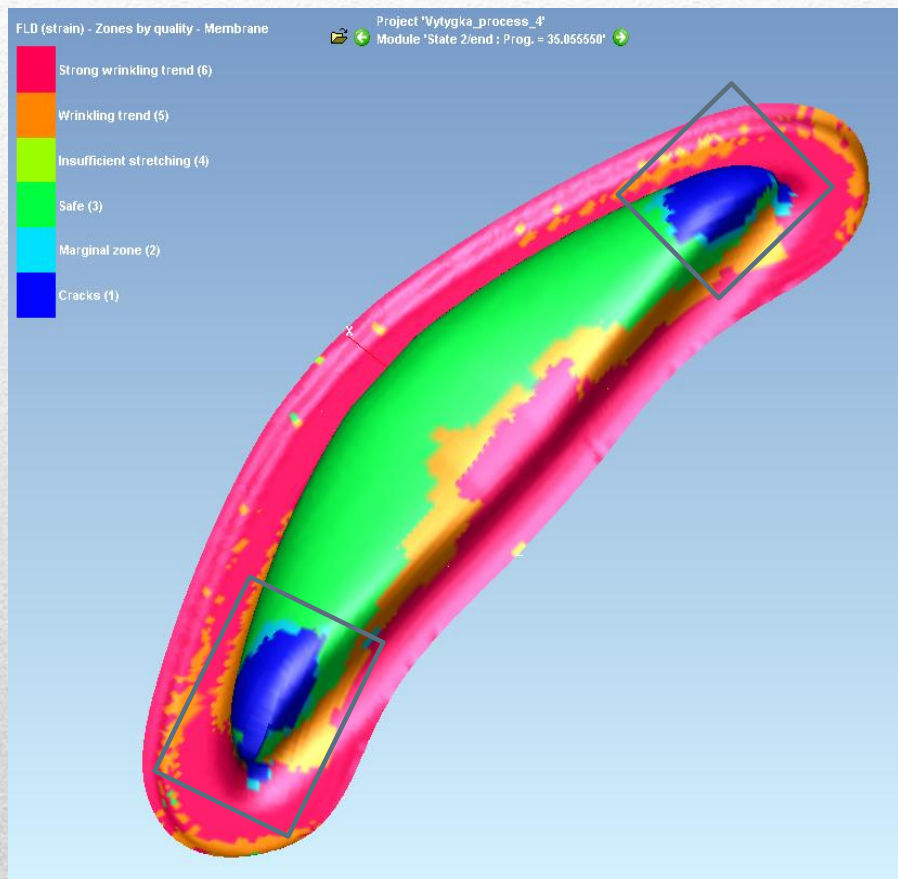
Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 2,37 мм.
Минимальная толщина - 0,83 мм.
Утонение – 58 %



Степень деформации
максимальная деформация – 105%



Выводы по вытяжке эластичной средой с уменьшенной геометрией заготовки, с использованием рифта разного сечения по контуру заготовки

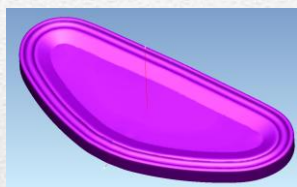


- рифт по контуру не дает образовываться гофрам;
- уменьшенная глубина рифта не эффективно уменьшает жесткость;
- уменьшение контура заготовки хорошо снижает жесткость и дает возможность большему перемещению заготовки в очаг деформации;
- в носовой части детали жесткость избыточна и это препятствует перемещению материала в очаг деформации;
- диаграмма ограничений формуемости показывает появление трещин (синих зон) в ходе вытяжки в носике детали;
- утонение больше 20% (58%);
- максимальные деформации (105%) превышают 20%.

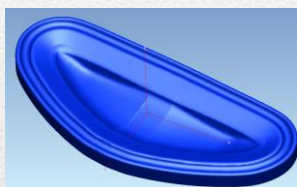
Рекомендация : уменьшить заготовку в области носка детали; разбить на переходы и добавить промежуточные термообработки; использовать разную по глубине детали оснастку , в оснастку добавить коническую заходную поверхность для лучшего перемещения заготовки в очаг деформации.

17 вариант

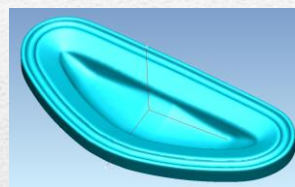
Вытяжка эластичной средой с уменьшенной геометрией заготовки, с использованием рифта постоянного сечения по контуру заготовки, с промежуточными термообработками



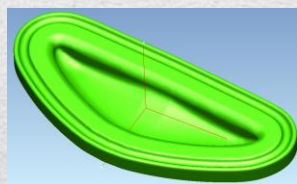
1 переход



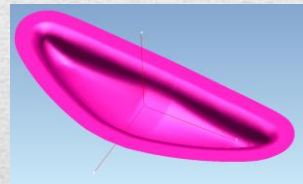
2 переход



3 переход



4 переход



5 переход

Схема формообразования:

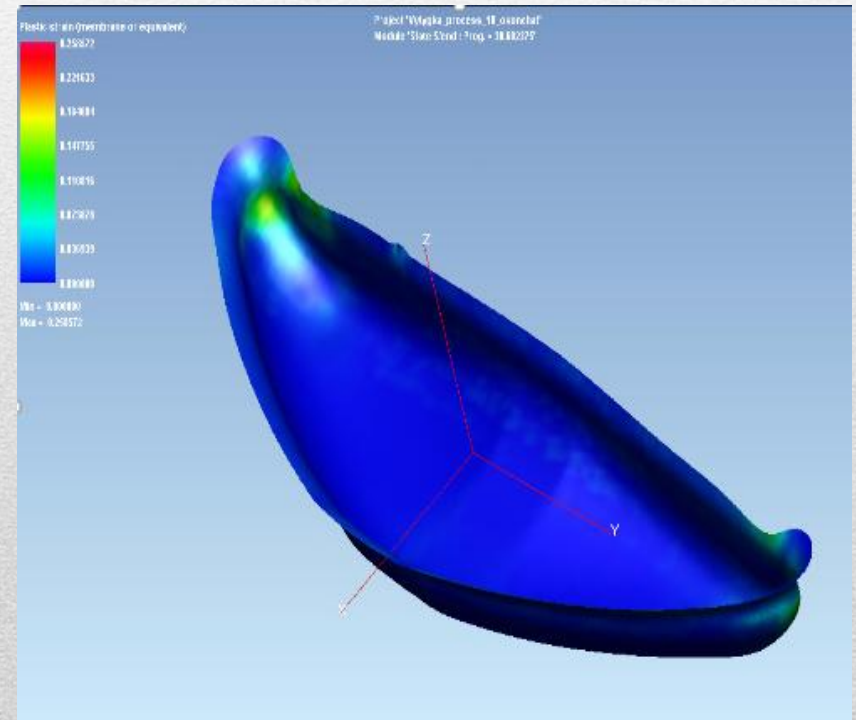
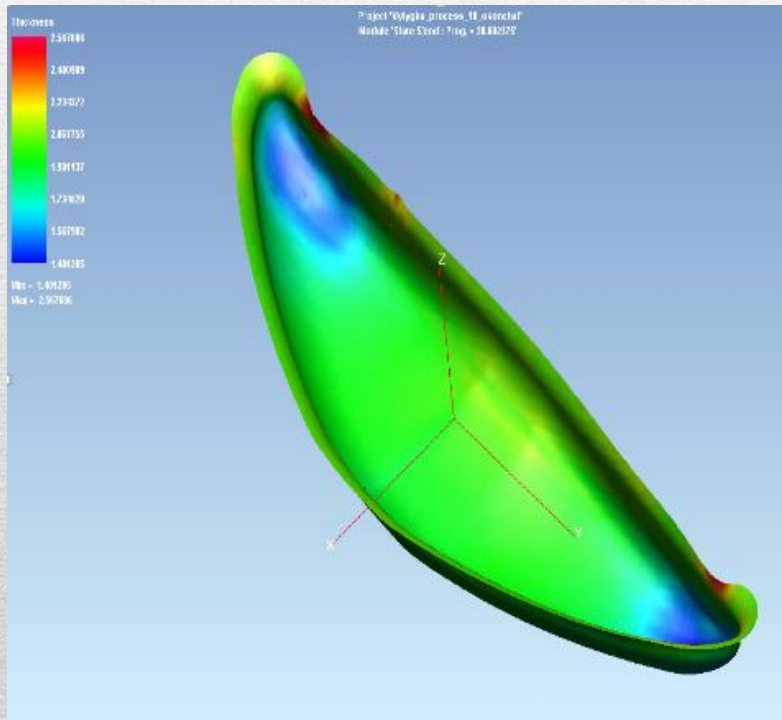
- используется заготовка толщиной 2 мм;
- для осуществления вытяжки создан замкнутый симметричный контур соединением двух деталей, т.е. за одно формообразование получается две детали;
- процесс разбит на пять переходов:
 - 1 переход - получение рифта по контуру;
 - 2, 3, 4 переход - формообразование с увеличением глубины детали;
 - на 4 переходе предварительная обрезка припуска с риффовыми элементами (для уменьшения жесткости);
 - 5 переход - окончательное формообразование.
- промежуточные термообработки проводятся после каждого перехода (т.е. 4 термообработки);
- коэффициент трения Амонтона — Кулона – 0.05

17 вариант

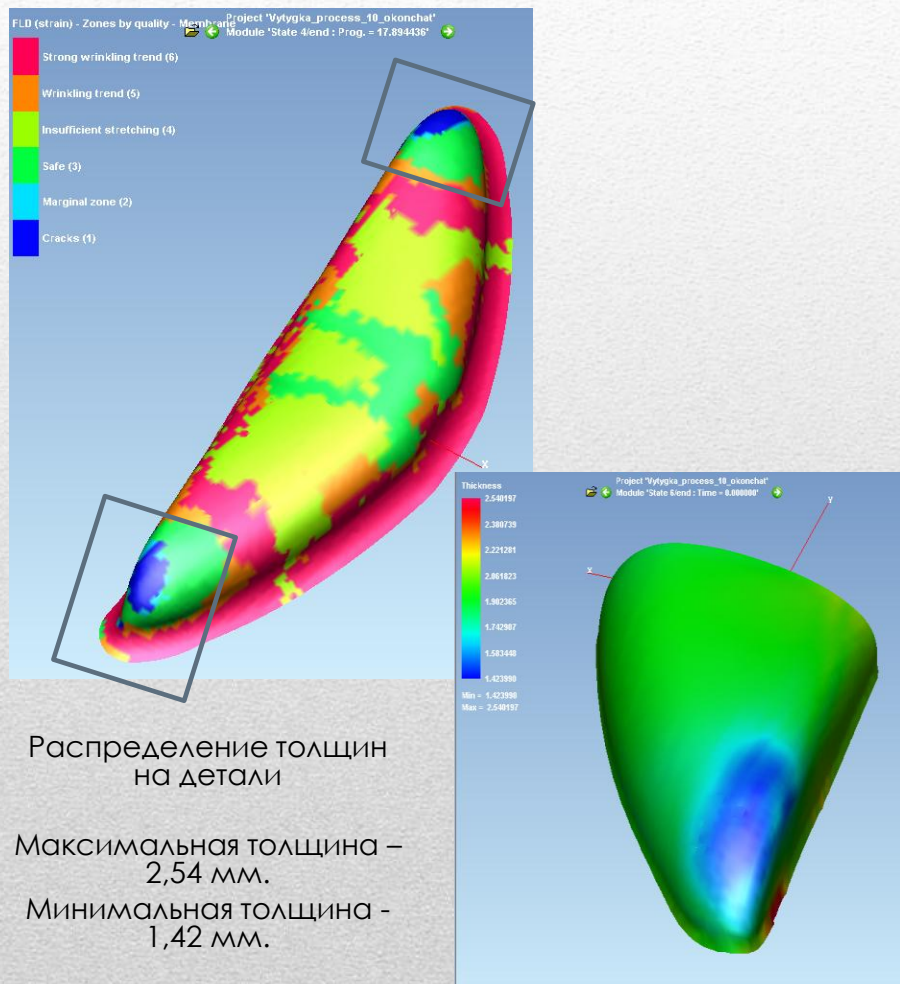
Вытяжка эластичной средой с уменьшенной геометрией заготовки, с использованием рифта постоянного сечения по контуру заготовки, с промежуточными термообработками

Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 2,56 мм.
Минимальная толщина - 1,4 мм.
Утонение – 30 %

Степень деформации
максимальная деформация – 25%



Выводы по вытяжке эластичной средой с уменьшенной геометрией заготовки, с использованием рифта постоянного сечения по контуру заготовки, с промежуточными термообработками

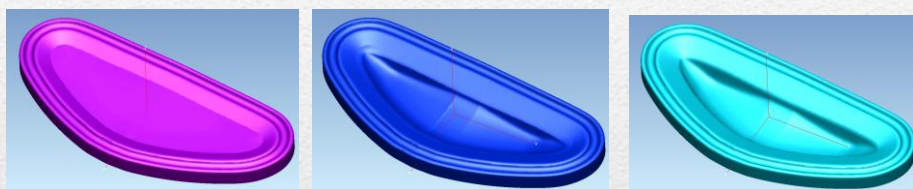


- рифт по контуру не дает возможности образоваться гофрам;
- уменьшение контура заготовки хорошо снижает жесткость и позволяет перемещаться заготовке в очаг деформации в зоне носика детали;
- диаграмма ограничений формуемости показывает появление трещин (синих зон) в ходе вытяжки в носике детали на четвертом переходе;
- утонение больше 20% (30%);
- максимальные деформации (25%) превышают 20%.

Рекомендация : увеличить толщину заготовки, чтобы обеспечить требуемую толщину детали

18 вариант

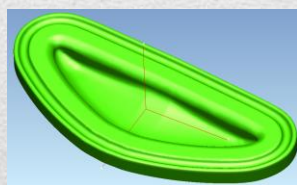
Вытяжка эластичной средой с уменьшенной геометрией заготовки, использованием рифта постоянного сечения по контуру заготовки, промежуточными термообработками и увеличенной толщиной заготовки



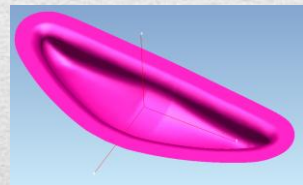
1 переход

2 переход

3 переход



4 переход



5 переход

Схема формообразования:

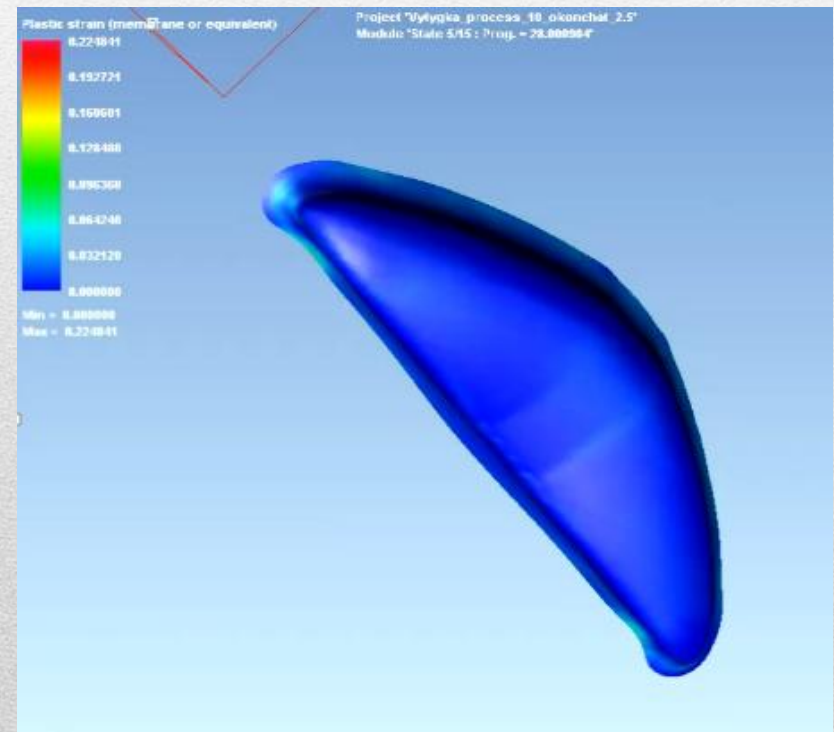
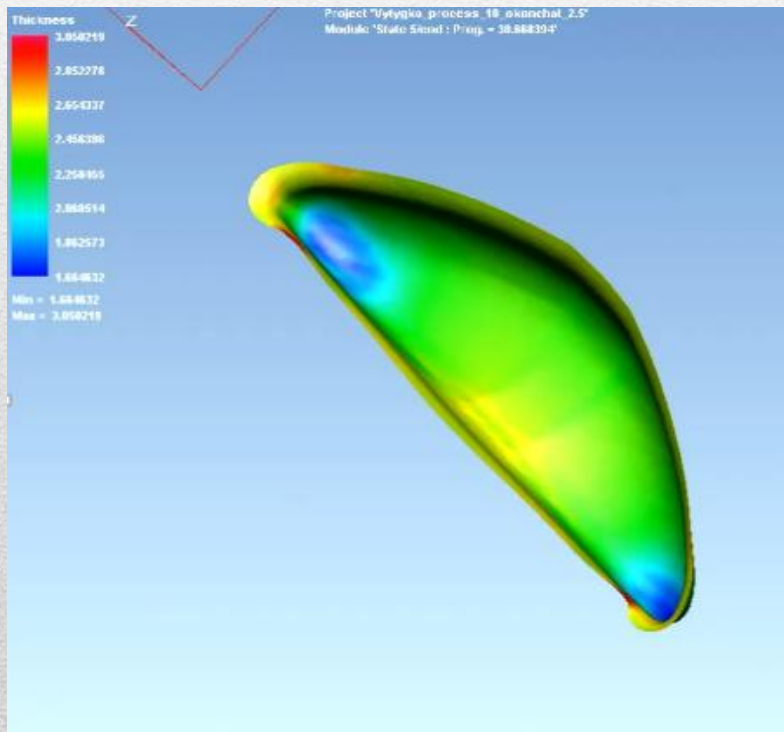
- используется заготовка толщиной 2,5 мм;
- для осуществления вытяжки создан замкнутый симметричный контур соединением двух деталей, т.е. за одно формообразование получается две детали;
- процесс разбит на пять переходов:
 - 1 переход - получение рифта по контуру;
 - 2, 3, 4 переходы - формообразование с увеличением глубины детали;
 - перед 4 переходом обрезка припуска детали с рифовыми элементами (для уменьшения жесткости);
 - 5 переход - окончательное формообразование и получение геометрии детали.
- промежуточные термообработки проводятся после каждого перехода (т.е. 4 термообработки);
- коэффициент трения Амонтона — Кулона — 0.05

18 вариант

Вытяжка эластичной средой с уменьшенной геометрией заготовки, использованием рифта постоянного сечения по контуру заготовки, промежуточными термообработками и увеличенной толщиной заготовки

Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 3,05 мм.
Минимальная толщина – 1,66 мм.

Степень деформации
максимальная деформация – 22%

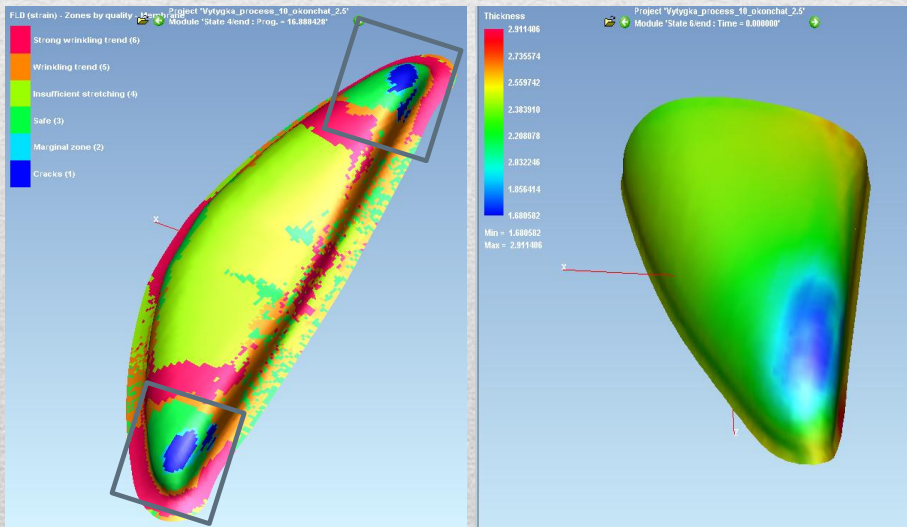


18 вариант

Вытяжка эластичной средой с уменьшенной геометрией заготовки, с использованием рифта постоянного сечения по контуру заготовки, с промежуточными термообработками и увеличенной толщиной заготовки

Распределение толщин на детали
Максимальная толщина – 2,91 мм.
Минимальная толщина - 1,68 мм.

Теоритическая масса детали (т.е. толщина по всей детали равна 2 мм.) – 152 г.
Масса, получившаяся при моделировании детали из заготовки толщиной 2,5мм – 193 г.

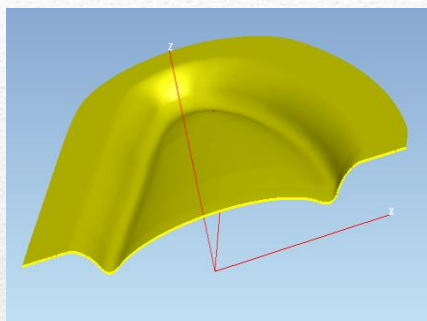


- рифт по контуру не дает возможности образоваться гофрам;
- уменьшение контура заготовки хорошо снижает жесткость и дает возможность большего перемещения заготовки в очаг деформации в зоне носика детали;
- увеличение толщины заготовки обеспечивает толщину детали 1,68 мм;
- диаграмма ограничений формуемости показывает появление трещин (синих зон) в ходе вытяжки в носике детали на четвертом переходе;
- утонение меньше 20% (17% от толщины 2 мм);
- максимальные деформации (22%, превышают 20% на 10 %), т.е. это не критично при расчетах и можно считать, что деталь не порвется в данном месте.

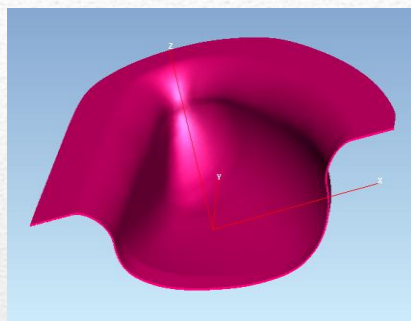
Рекомендация : проработать вариант реверсивной вытяжки

19 вариант

Вытяжка реверсивная эластичной средой с применением дополнительной оснастки



1 переход (оснастка для реверса)



2 переход (оснастка для получения детали)

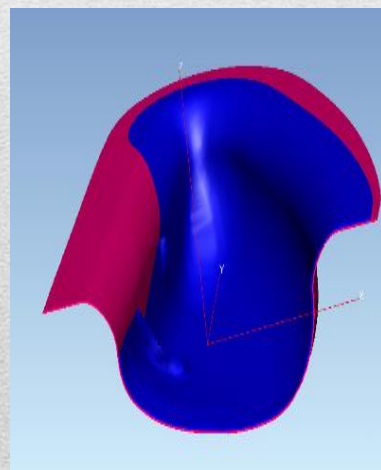
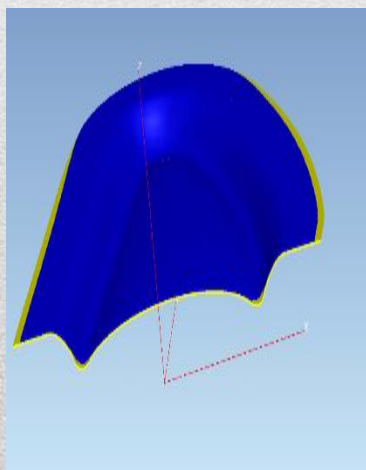


Схема формообразования:

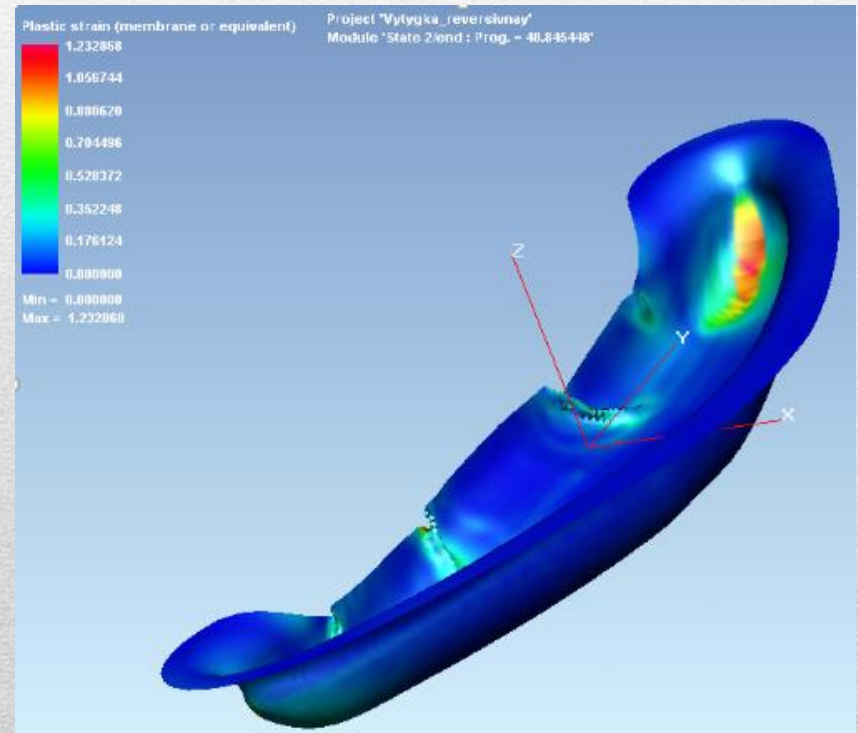
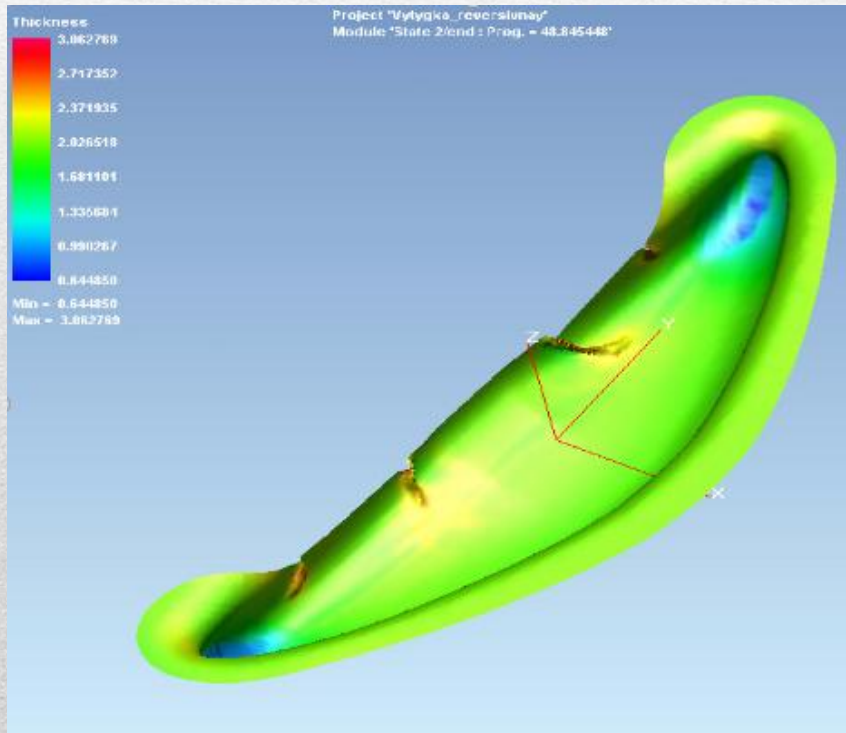
- используется заготовка толщиной 2 мм;
- для осуществления вытяжки создан замкнутый симметричный контур соединением двух деталей, т.е. за одно формообразование получается две детали;
- процесс разбит на два перехода:
 - 1 переход – осуществление реверса;
 - 2 переход - формообразование детали;
- нет промежуточных термообработок;
- коэффициент трения Амонтона — Кулона – 0.1.

19 вариант

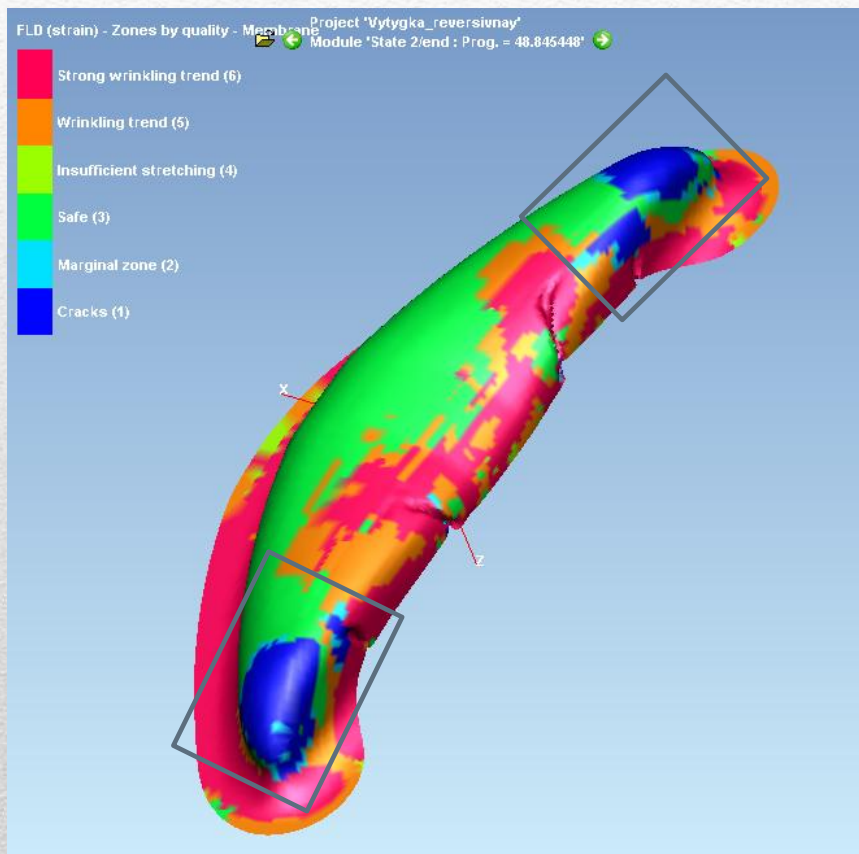
Вытяжка реверсивная эластичной средой с применением дополнительной оснастки

Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 3,06 мм.
Минимальная толщина - 0,64 мм.
Утонение – 68 %

Степень деформации
максимальная деформация – 123%



Выводы по вытяжке реверсивной эластичной средой с применением дополнительной оснастки

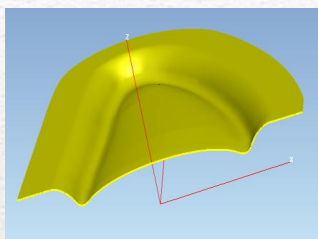


- применение оснастки для реверса дает увеличение жесткости на начальных этапах, но этого мало для предотвращения гофрообразования на всем формообразовании;
- диаграмма ограничений формовости показывает появления трещин (синих зон) в ходе вытяжки в носике детали;
- утонение больше 20% (68%);
- максимальные деформации (123%) превышают 20%.

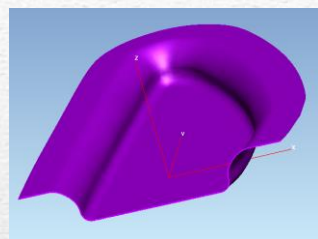
Рекомендация : Использовать несколько оснасток для реверса и разбить процесс на переходы и добавить промежуточные термообработки.

20 вариант

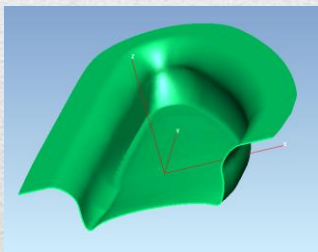
Вытяжка реверсивная эластичной средой с применением дополнительной оснастки с большим количеством переходов



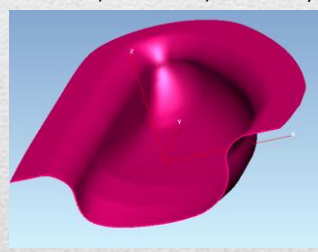
1 переход (оснастка для первого реверса)



2 переход (формообразование детали на не полную высоту детали)



3 переход (оснастка для второго реверса)



4 переход (формообразование на полную высоту детали)

Схема формообразования:

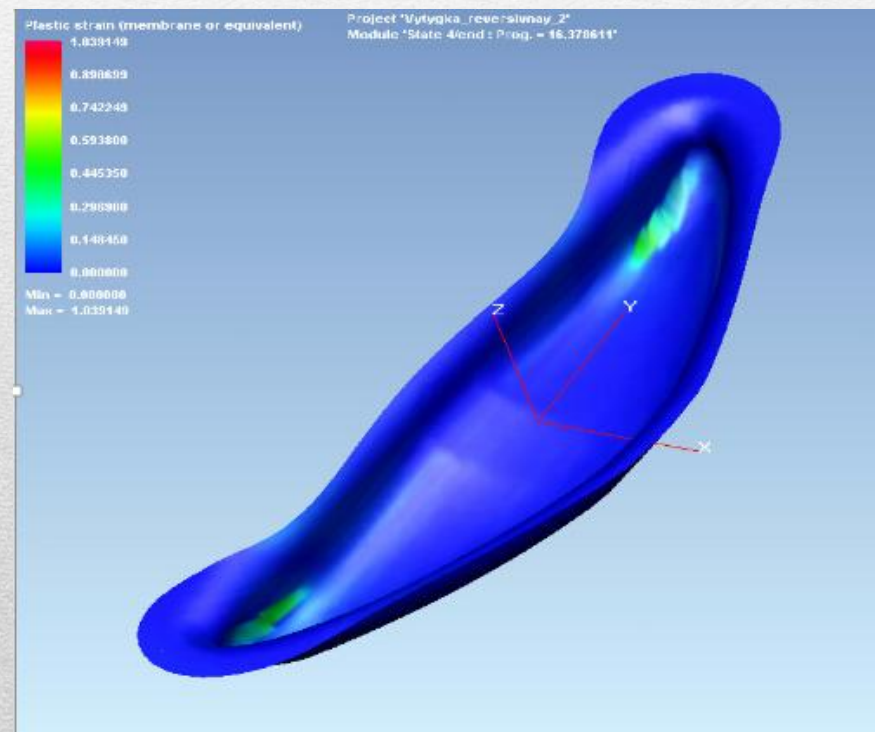
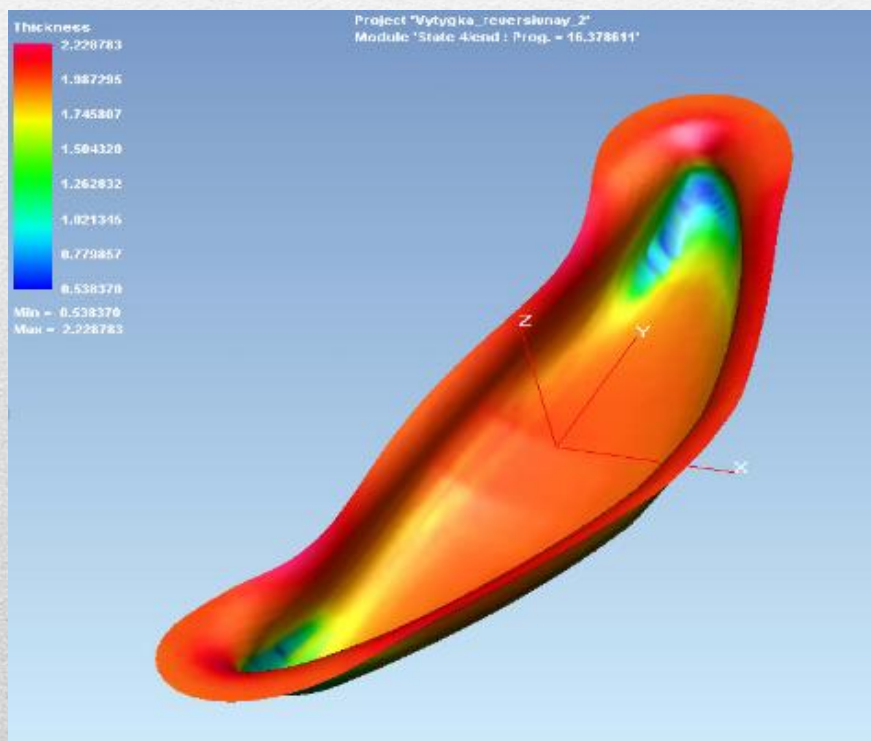
- используется заготовка толщиной 2 мм;
- для осуществления вытяжки создан замкнутый симметричный контур соединением двух деталей, т.е. за одно формообразование получается две детали;
- процесс разбит на четыре перехода:
 - 1 переход – осуществление первого реверса;
 - 2 переход – формообразование детали на неполную глубину;
 - 3 переход – осуществление второго реверса;
 - 4 переход - формообразование на полную глубину детали.
- промежуточные термообработки проводятся после каждого перехода (всего три термообработки);
- коэффициент трения Амонтóна — Кулóна – 0.1.

20 вариант

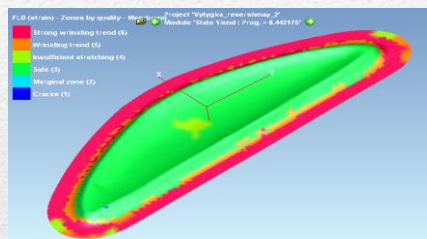
Вытяжка реверсивная эластичной средой с применением дополнительной оснастки с большим количеством переходов

Распределение толщин на заготовке
Максимальная толщина – 2,22 мм.
Минимальная толщина - 0,53 мм.
Утонение – 73 %

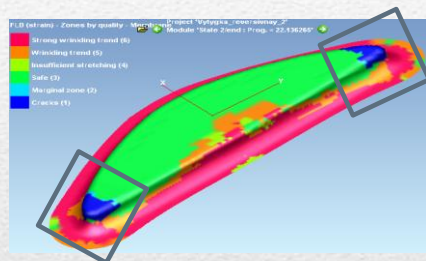
Степень деформации
максимальная деформация – 103%



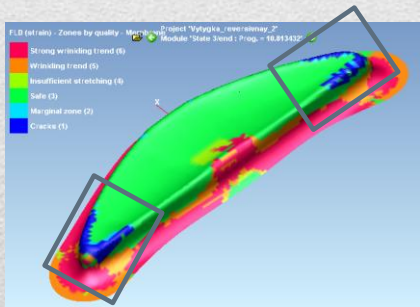
Выводы по вытяжке реверсивной эластичной средой с применением дополнительной оснастки с большим количеством переходов



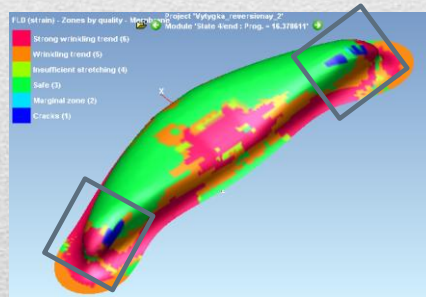
Конец 1 перехода



Конец 2 перехода



Конец 3 перехода



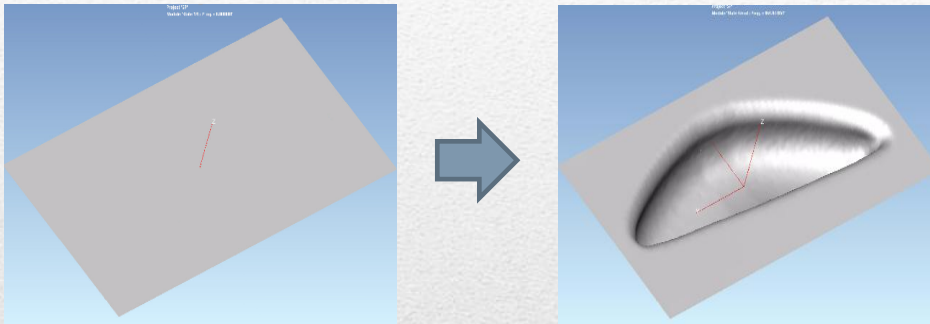
Конец 4 перехода

- применение оснастки для реверса дает увеличение жесткости на 1 и 3 переходе, этого достаточно для предотвращения гофрообразования в процессе формообразования;
- диаграмма ограничений формуемости показывает появление трещин (синих зон) в ходе вытяжки в носике детали и носовых частях на 2, 3 и 4 переходах;
- утонение больше 20% (73%);
- максимальные деформации (103%) превышают 20%;
- повторяется ситуация вариантов 15, 16 и 17. Т.е. необходимо принимать те же меры, что были приняты в этих вариантах. Поэтому результаты реверсивной вытяжки будут подобны.
- Вывод : дальнейшая проработка данного варианта нецелесообразна.

Рекомендация : Исследовать область сверхпластичной формовки на предмет применимости к формообразованию детали.

21 вариант

Пнемотермическая формовка в режиме сверхпластичности



Характеристики сверхпластичности АМгб

$\sigma = 0.023$ ГПа – предел текучести

$m = 0.35$ – коэффициент скоростного упрочнения

$\dot{\epsilon} = 0.002$ – скорость деформации

$A = 5$ мкм – размер зерна

$T = 400$ °С – температура формовки

$\delta_{\max} = 250\%$ – максимальное относительное удлинение

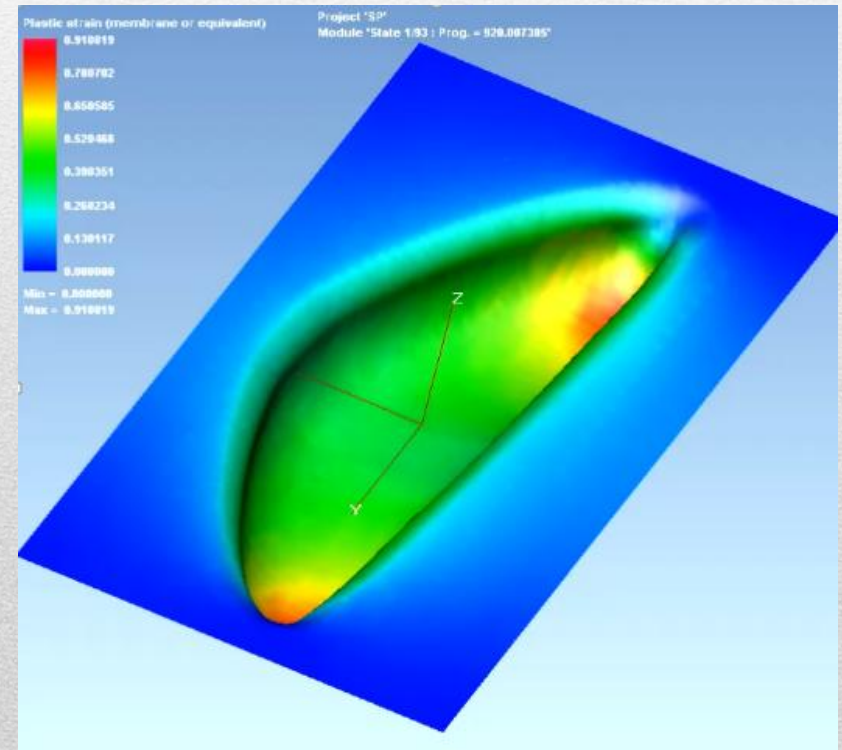
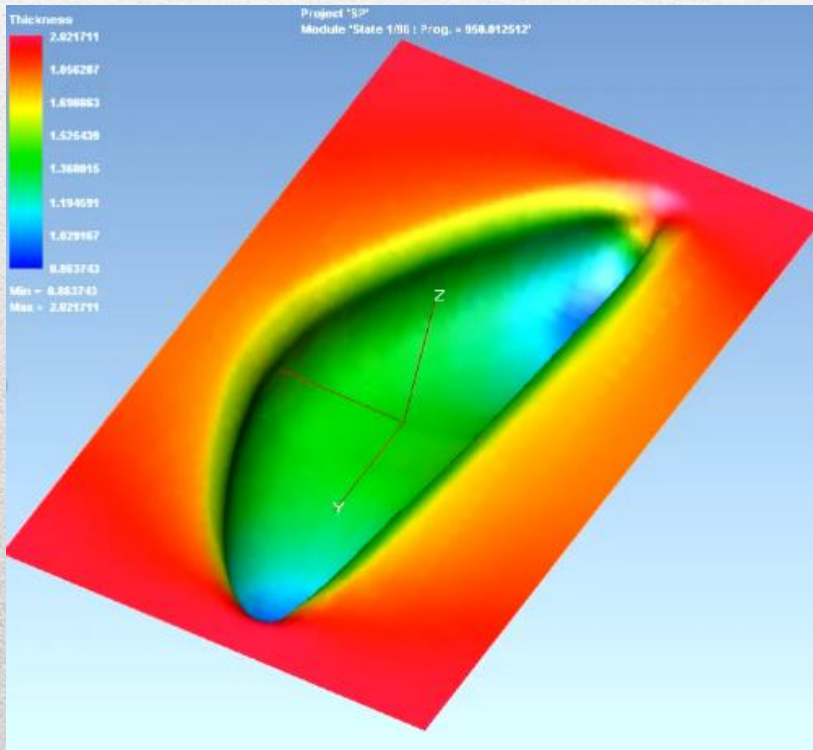
Схема формообразования:

- используется заготовка толщиной 2 мм;
- для осуществления пнемотермической формовки создан замкнутый симметричный контур соединением двух деталей, т.е. за одно формообразование получается две детали;
- заготовка закреплена по контуру;
- формообразование идет за счет утонения;
- нет промежуточных термообработок;
- коэффициент трения Амонтона — Кулона – 0.15.

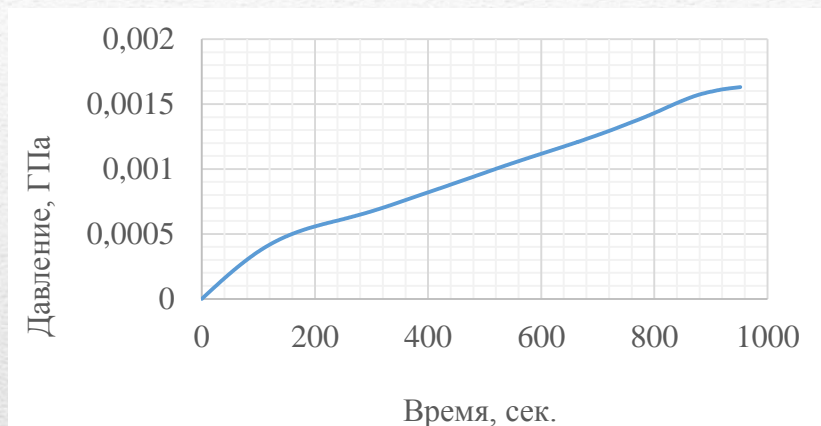
21 вариант Пнемотермическая формовка в режиме сверхпластичности

Распределение толщины на заготовке
Максимальная толщина – 2,02 мм.
Минимальная толщина - 0,86 мм.
Утонение – 57%

Степень деформации
максимальная деформация – 91%

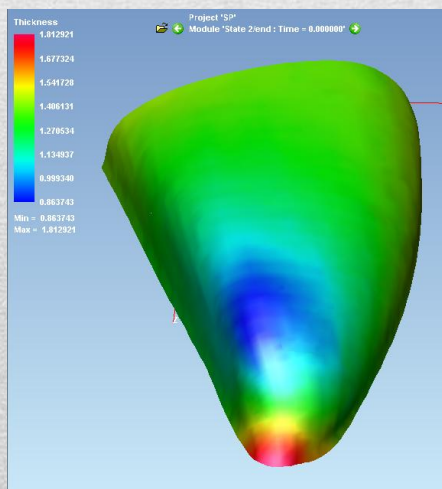


Выводы по пневмотермической формовке в режиме сверхпластичности



- сверхпластичная формовка позволяет уйти от ограничений, связанных с деформацией;
- герметизация заготовки по контуру дает возможность избежать появления дефектов типа «складка и «гофрообразование»»;
- получен управляющий график давления, необходимый для формовки детали;
- утонение больше 20% (57%);
- максимальные деформации (91%) не превышают 250% (допустимой для данного материала в состоянии сверхпластичности).

Рекомендация : увеличить толщину заготовки, чтобы минимальная толщина была в допустимых пределах

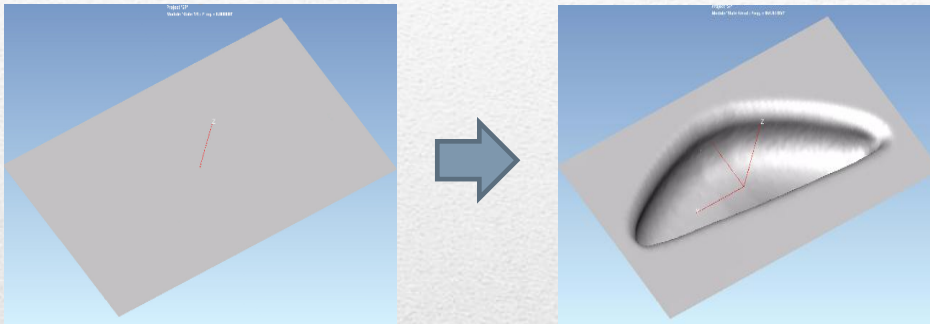


Распределение толщины на детали
Максимальная толщина – 1,81 мм.
Минимальная толщина - 0,86 мм.

Масса детали толщиной 2 мм. – 152 г.
Масса, получившаяся при моделировании
детали из заготовки толщиной 2 мм, в
результате утонения – 108 г.

22 вариант

Пневмотермическая формовка в режиме сверхпластичности с увеличенной толщиной заготовки



Характеристики сверхпластичности АМг6

$\sigma = 0.023$ ГПа – предел текучести;

$m = 0.35$ – коэффициент скоростного упрочнения;

$\dot{\epsilon} = 0.002$ – скорость деформации;

$A = 5$ мкм – размер зерна;

$T = 400$ °С – температура формовки;

$\delta_{\max} = 250\%$ – максимальное относительное удлинение

Схема формообразования:

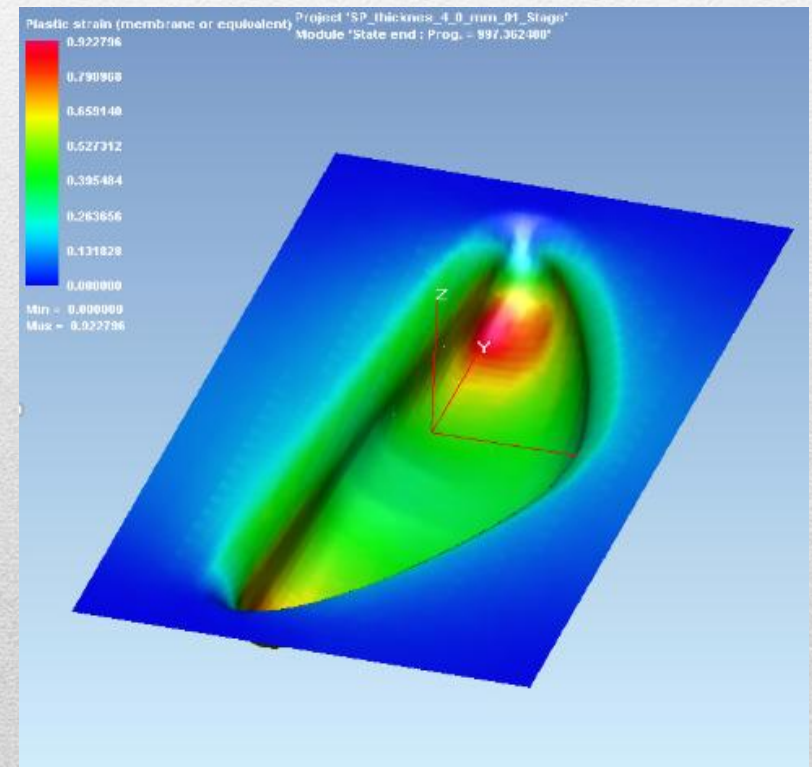
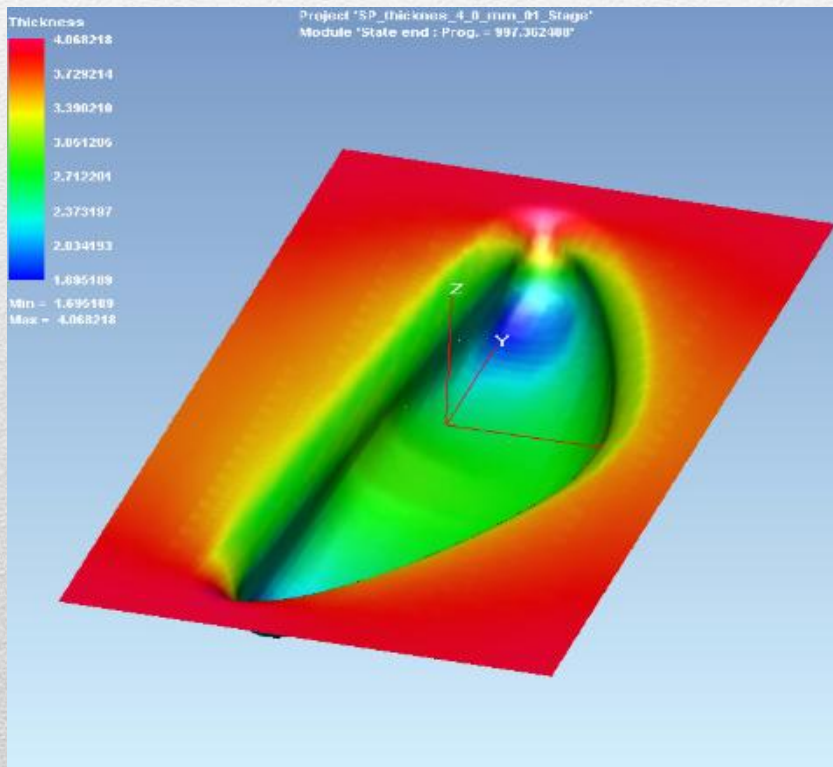
- используется заготовка толщиной 4 мм;
- для осуществления пневмотермической формовки создан замкнутый симметричный контур соединением двух деталей, т.е. за одно формообразование получается две детали;
- заготовка закреплена по контуру;
- формообразование идет за счет утонения;
- нет промежуточных термообработок;
- коэффициент трения Амонтона — Кулона – 0.15.

22 вариант

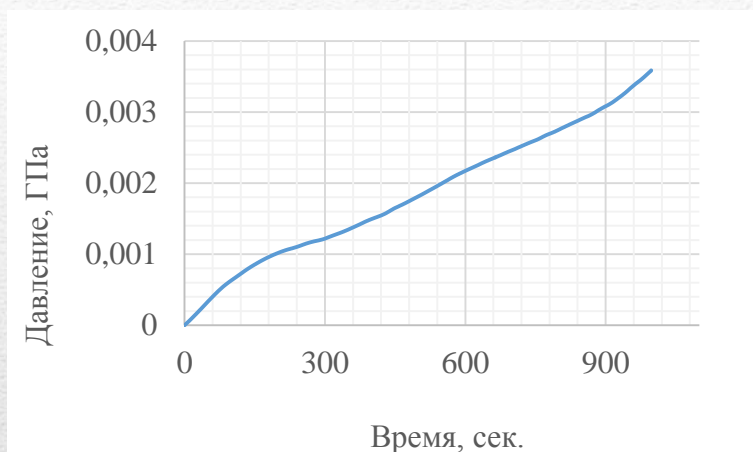
Пневмотермическая формовка в режиме сверхпластичности с увеличенной толщиной заготовки

Распределение толщины на заготовке
Максимальная толщина – 4,06 мм.
Минимальная толщина - 1,69 мм.
Утонение – 57,75%

Степень деформации
максимальная деформация – 92%

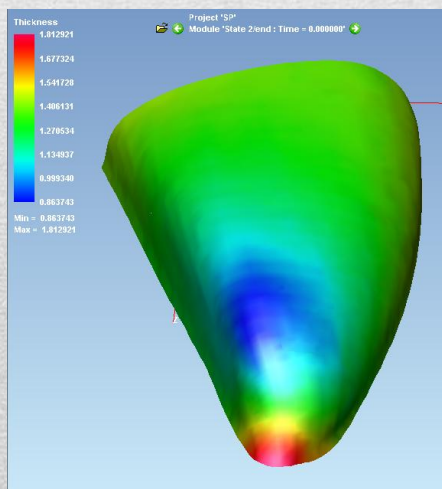


Выводы по пневмотермической формовке в режиме сверхпластичности с увеличенной толщиной



- сверхпластичная формовка позволяет уйти от ограничений, связанных деформацией;
- герметизация заготовки по контуру дает возможность избежать появления дефектов типа «складка» и гофрообразования;
- получен управляющий график давления, необходимый для получения детали;
- утонение больше 20% (57,75%);
- максимальные деформации (92%) не превышают 250% (допустимых для данного материала в состоянии сверхпластичности).

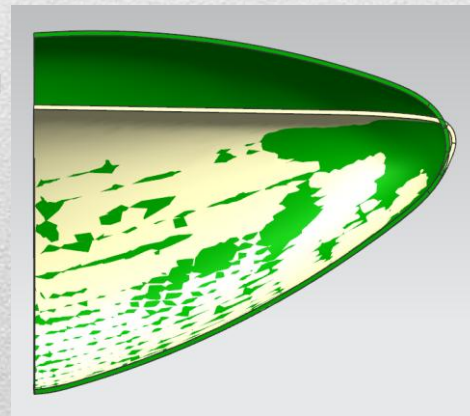
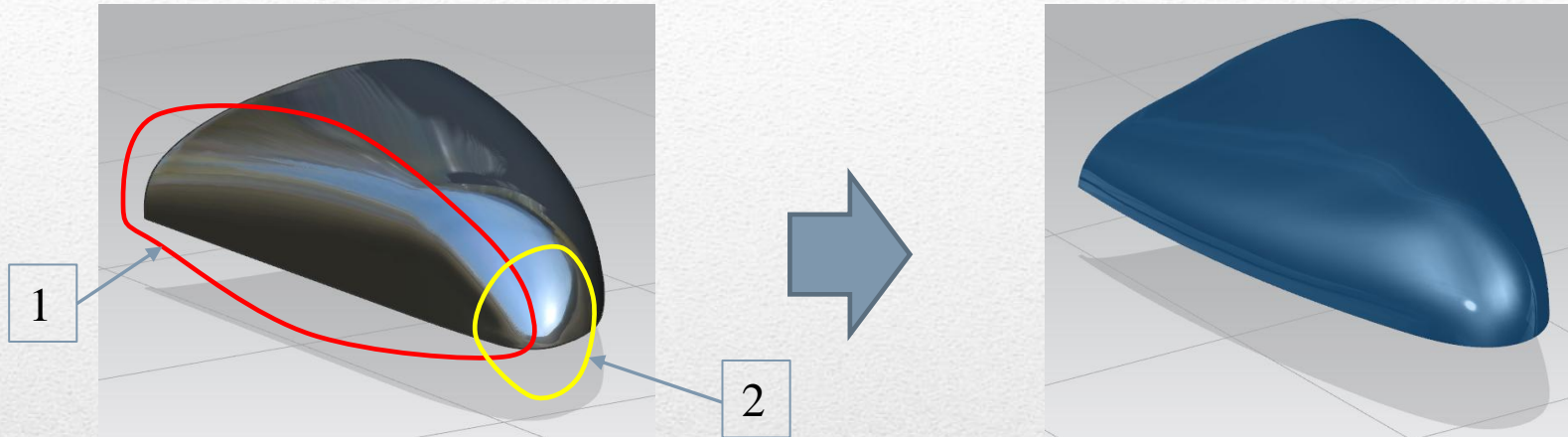
Рекомендация : проработать варианты изменения конструкции детали с целью улучшения ее технологичности


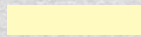


Распределение толщины на детали
Максимальная толщина – 3,7 мм.
Минимальная толщина - 1,69 мм.

Масса детали (когда толщина всей детали равна 2 мм.) – 152 г.
Масса, получившаяся при моделировании детали из заготовки толщиной 4 мм – 221 г.

Вариант №1 оптимизации конструкции детали



-  - ОПТИМИЗИРОВАННАЯ
деталь
-  - ИСХОДНАЯ деталь

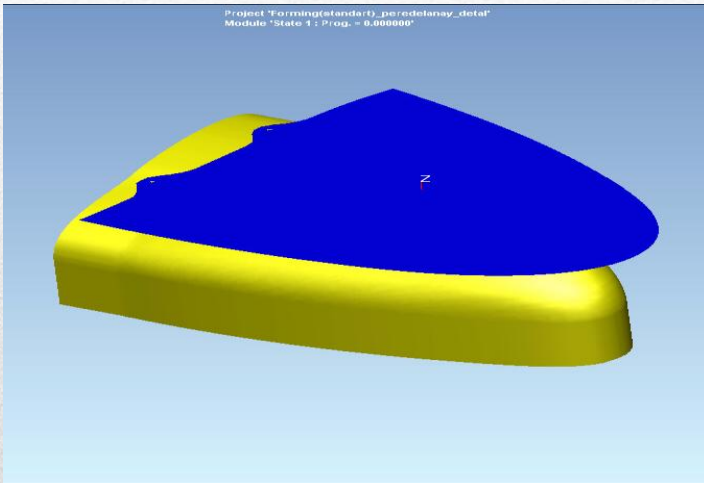
Рассмотренные варианты формообразования показывают, что деталь нетехнологична. В ней присутствует ряд зон, сложных для формообразования:

1. резкий переход от криволинейной поверхности к плоскому борту с малым радиусным переходом (зона 1);
2. острая носовая часть детали (зоны);
3. большая глубина детали

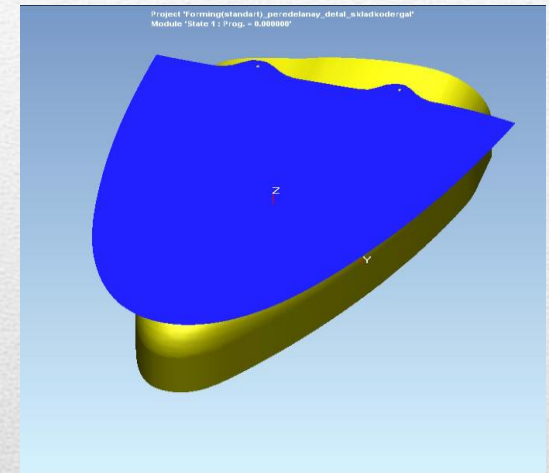
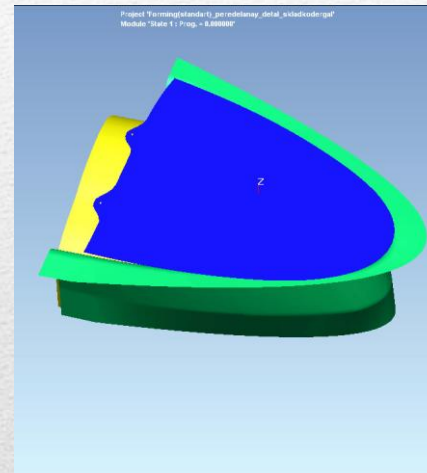
Предложен вариант оптимизации: в зоне 1 создан более плавный переход от криволинейной поверхности к плоской части борта за счет увеличения габарита на 30 мм, в зоне 2 - сглаживание носка детали. Толщина детали 2 мм.

Экспресс анализ формообразования оптимизированной формы детали эластичной средой по варианту 1

Формовка эластичной средой




Формовка эластичной средой со складкодержателем



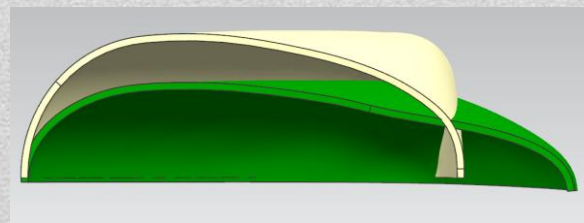
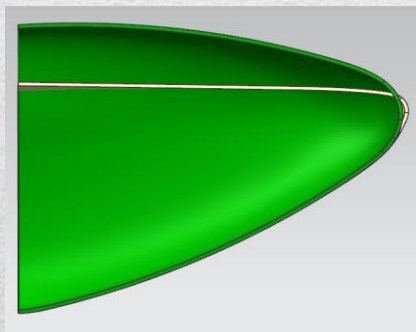
Анализ показал, что стандартным методом формообразования эластичной средой оптимизированную деталь получить невозможно. Вывод – необходимо продолжить оптимизацию конструкции детали

Вариант №2 оптимизации конструкции детали



 - ОПТИМИЗИРОВАННАЯ
ДЕТАЛЬ

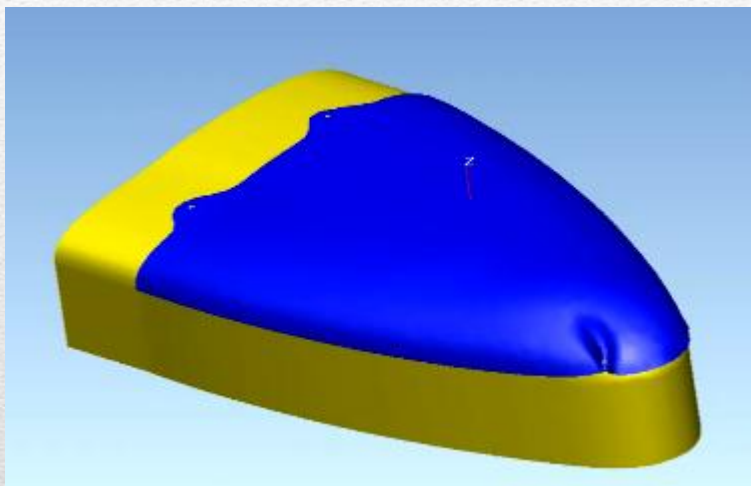
 - ИСХОДНАЯ ДЕТАЛЬ



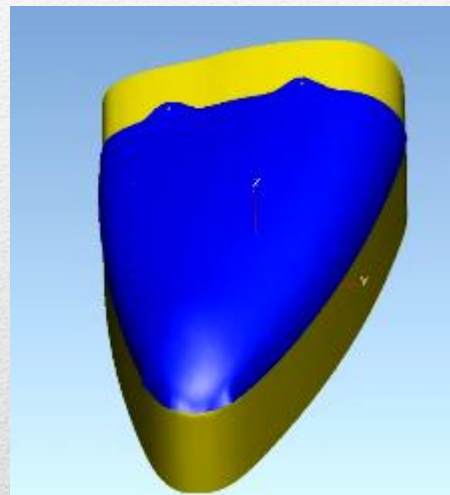
К варианту №1 оптимизации
конструкции уменьшена высота
детали на 20 мм

Экспресс анализ формообразования эластичной средой оптимизированной детали по варианту № 2

Формовка эластичной средой



Формовка эластичной средой со складкодержателем в два перехода

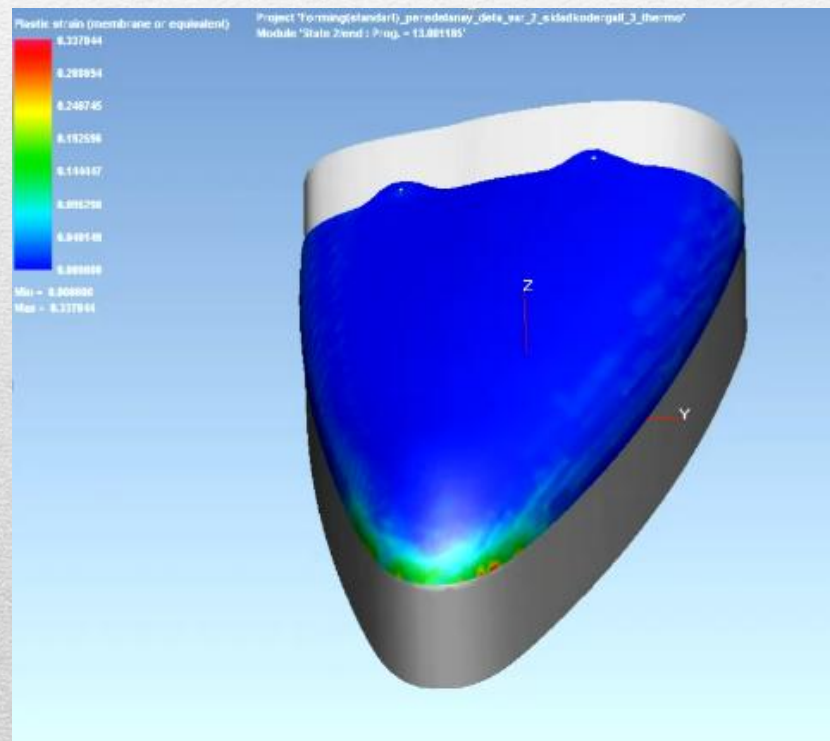
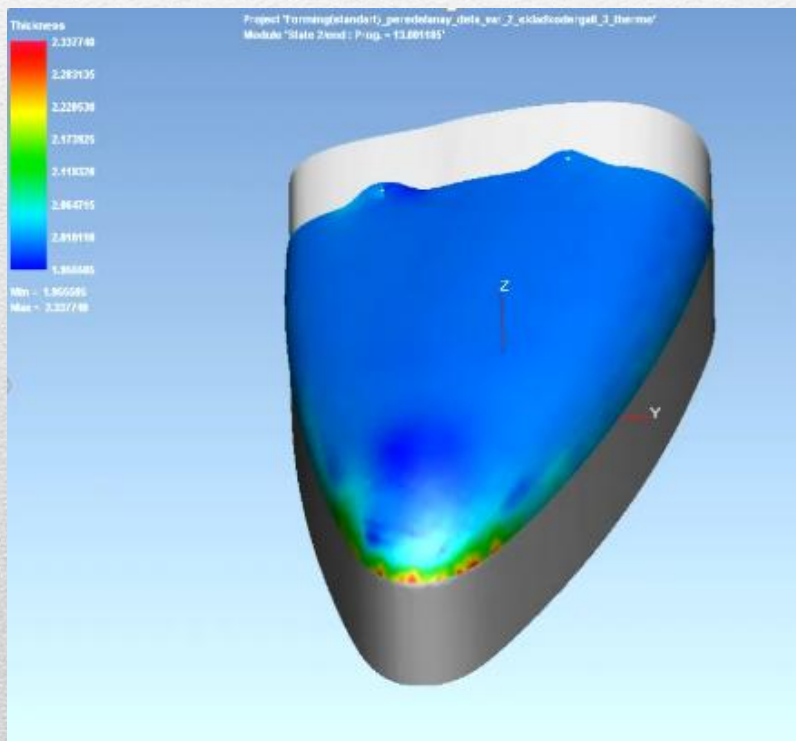


Анализ показал, что стандартным методом формообразования эластичной средой оптимизированную деталь получить невозможно. Вывод – необходимо дальше оптимизировать конструкцию детали

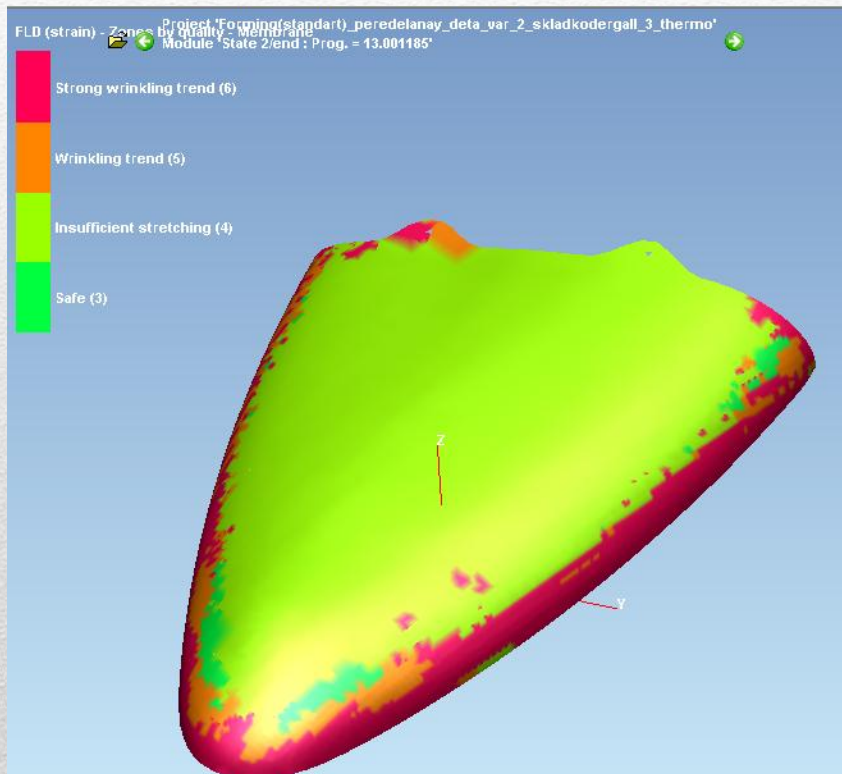
Формовка эластичной средой с применением складкодержателя в два перехода с промежуточной термообработкой детали, оптимизированной по варианту №2

Распределение толщины на заготовке
Максимальная толщина – 2,33 мм.
Минимальная толщина - 1,95 мм.
Утонение – 2,5 %

Степень деформации
максимальная деформация – 33%



Выводы по формовке эластичной средой с применением складкодержателя в два перехода, с промежуточной термообработкой оптимизированной детали по варианту № 2



- изменение конструкции детали и применение складкодержателя позволяет избежать гофробразования и дефекта типа «складка»;
- диаграмма ограничений формуемости не показывает появления трещин (синих зон) в ходе формообразования;
- утонение не больше 20% (2,5%);
- максимальные деформации (33%) превышают 20%., но это деформации сжатия, т.к. диаграмма ограничений формуемости не показывает появления трещин.

Общие выводы по результатам моделирования

- Проанализированы 22 варианта формообразования детали без ручных доводочных операций:
 - Формовка эластичной средой;
 - Вытяжка эластичной средой;
 - Вытяжка эластичной средой с применением рифта по периметру, повышающего жесткость по контуру;
 - Вытяжка в жестких штампах;
 - Реверсивная вытяжка эластичной средой;
 - Пневмотермическая формовка в режиме сверхпластичности.
- Найдены 4 варианта формообразования, которые позволяют получить деталь (варианты 8,14,18,22);
- Предложены варианты изменения конструкции детали с целью повышения ее технологичности и проведен экспресс анализ формообразования оптимизированной детали. Получено подтверждение, что деталь получается с меньшими затратами.

Контакты



**Национальный исследовательский Иркутский государственный
технический университет**

Институт авиамашиностроения и транспорта

Кафедра Самолётостроения и эксплуатации авиационной техники

664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Осипов Сергей Александрович

Тел. 8 (3952) 40-55-40

Email: osipov_sa@istu.edu

Шмаков Андрей Константинович

Тел. 8 (3952) 40-58-73

Email: shmakov@istu.edu