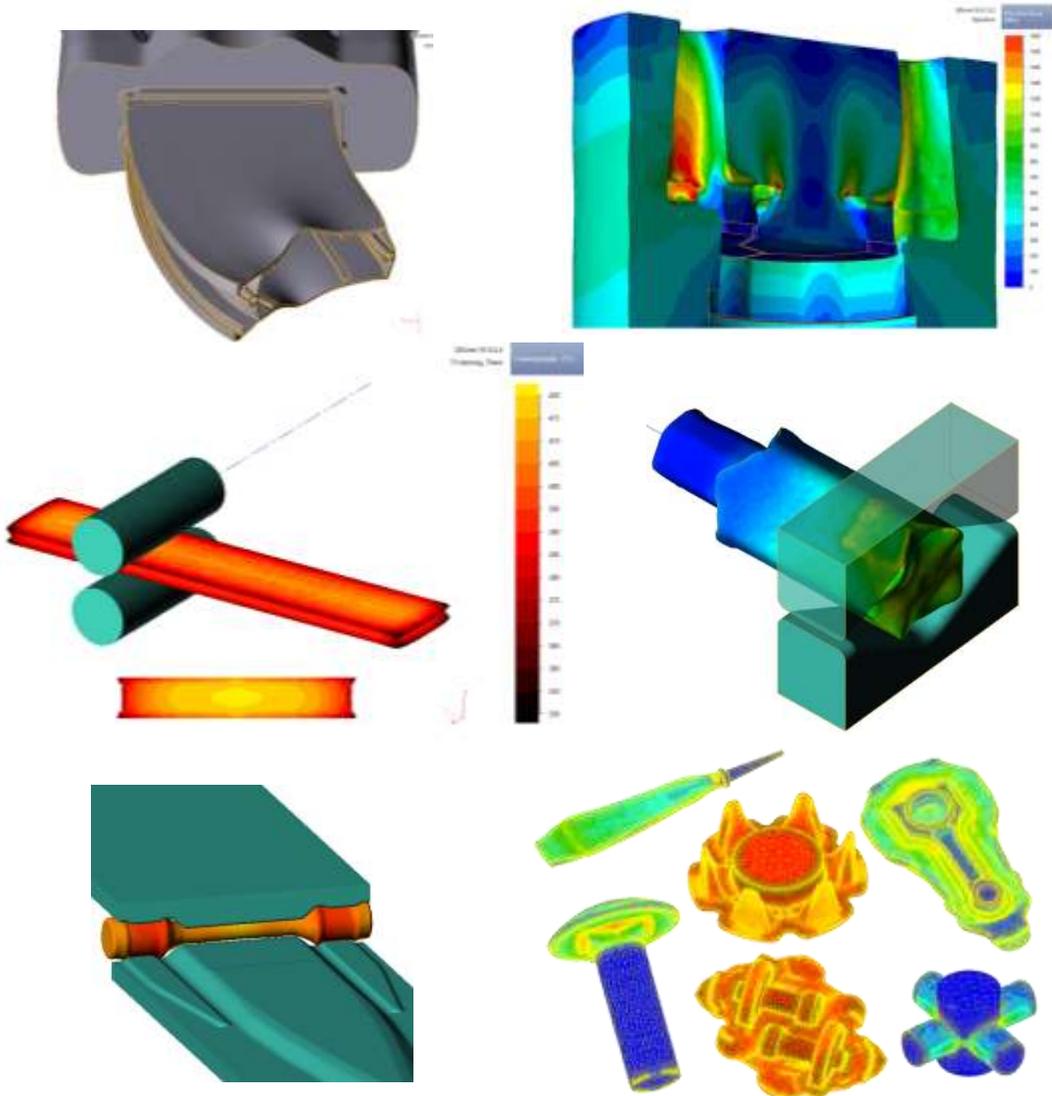
The background of the slide is a collage of three images: a blue water surface with ripples on the left, a close-up of a white car's side mirror on the right, and a 3D wireframe model of a mechanical part in the bottom right.

Использование инструментов
моделирования для решения
технологических задач при
производстве полуфабрикатов и
деталей из алюминия

Антон Легких – руководитель проекта, ИЛМиТ

Моделирование процессов ОМД



Моделирование позволяет:

- Получить требуемое формоизменение и разработать оптимальные технологические параметры техпроцесса ОМД для существующего оборудования;
- Прогнозировать образование различных дефектов и избежать их в процессе разработки техпроцесса;
- Разработать технологическую оснастку;
- Подобрать новое оборудование по энергосиловым параметрам, полученным в процессе моделирования, если получить штамповку/прокат/профиль на существующем оборудовании не представляется возможным;
- Сократить время на разработку техпроцесса;
- Сократить расходы, исключить пробные штамповки/прокаты/прессования

QFORM

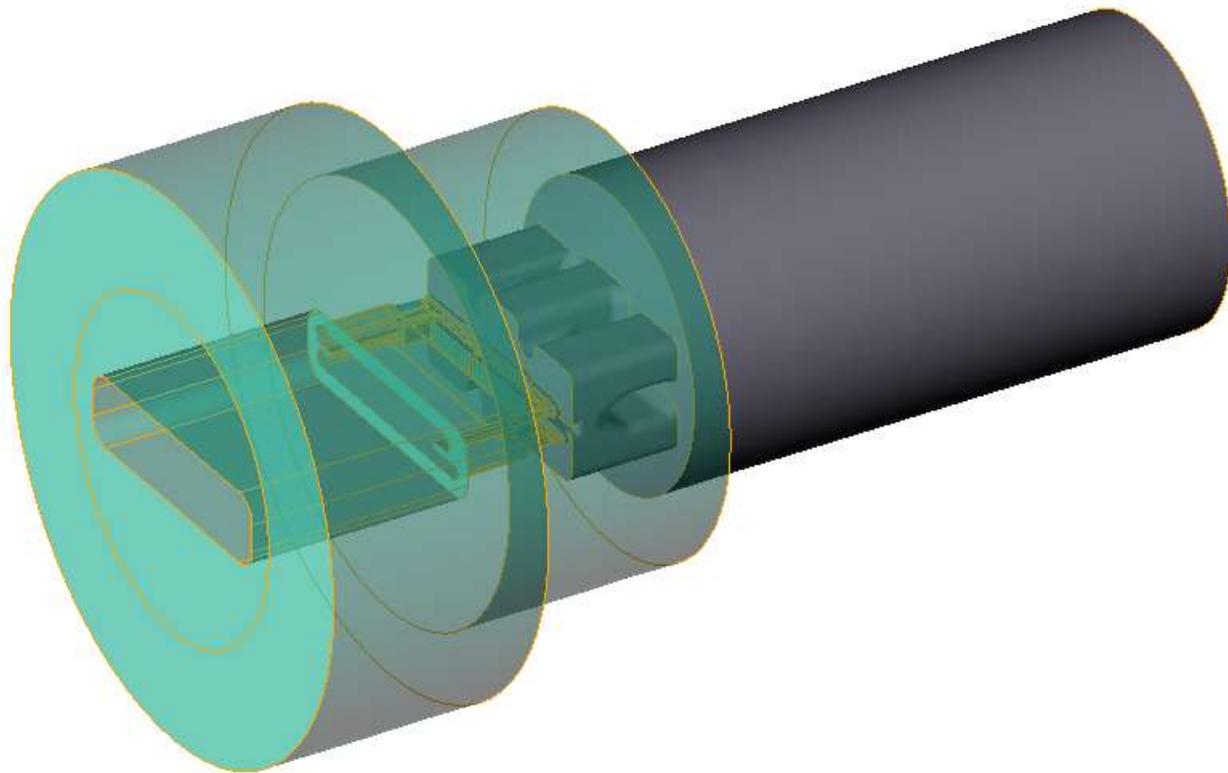


QExDD

SOLIDWORKS

Пример моделирования процесса экструзии

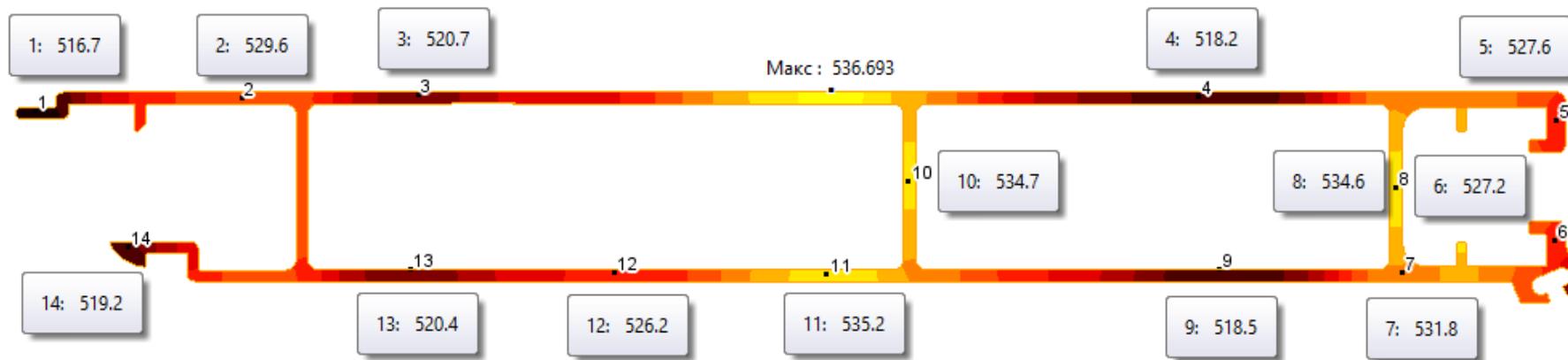
Цель моделирования - анализ равномерности скоростей истечения, разработка режима прессования, анализ напряженного-деформированного состояния инструмента, рекомендации по доработке конструкции матричного комплекта в случае необходимости.



Расчетная модель



Анализ распределения температуры по сечению профиля

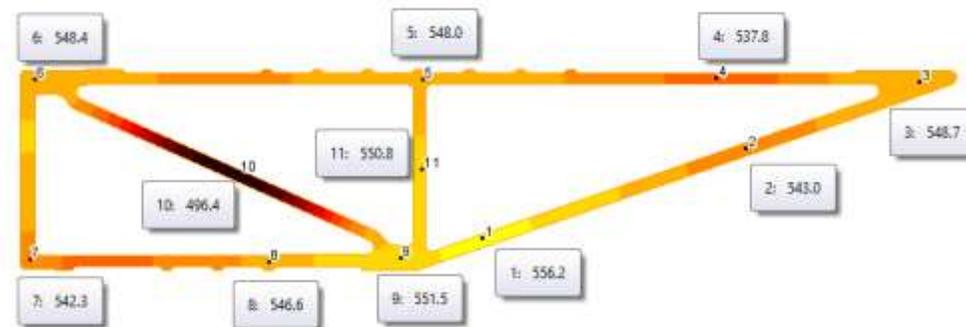


Распределение температуры профиля при скорости прессования 3 мм/с и температуре слитка 460 °С.

Разница температур по сечению профиля составляет более 18 °С, присутствуют зоны с температурой ниже рекомендованной температуры закалки для сплава 6063. Температура, измеренная на производстве в т. 11 составила 530-535 °С.

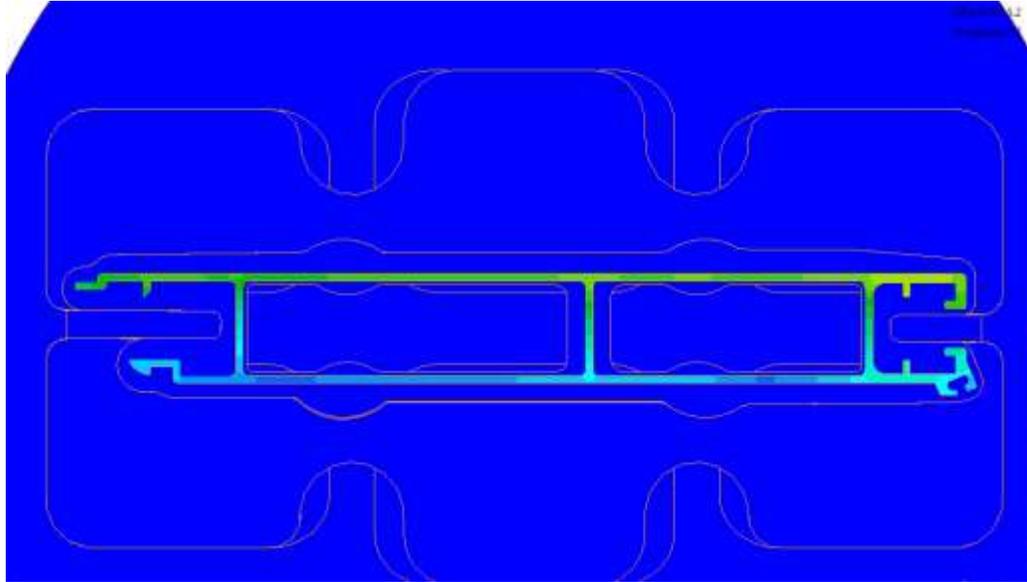
$T_{\text{заг}}, \text{ }^\circ\text{C}$	Скорость прессования, мм/с	
	3	3,5
460	516-537	527-548

Зависимость температуры профиля на выходе от скорости прессования



Проблема с температурой

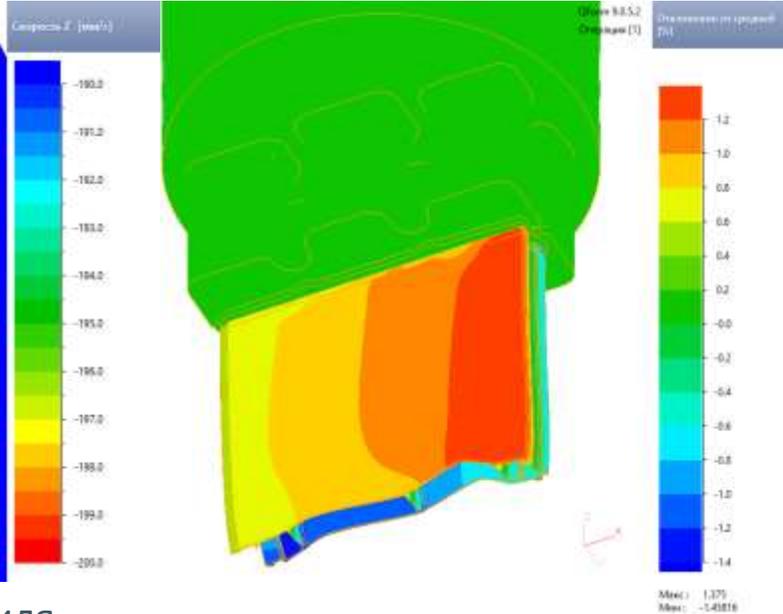
Анализ скоростей истечения



Распределение скоростей истечения по сечению профиля

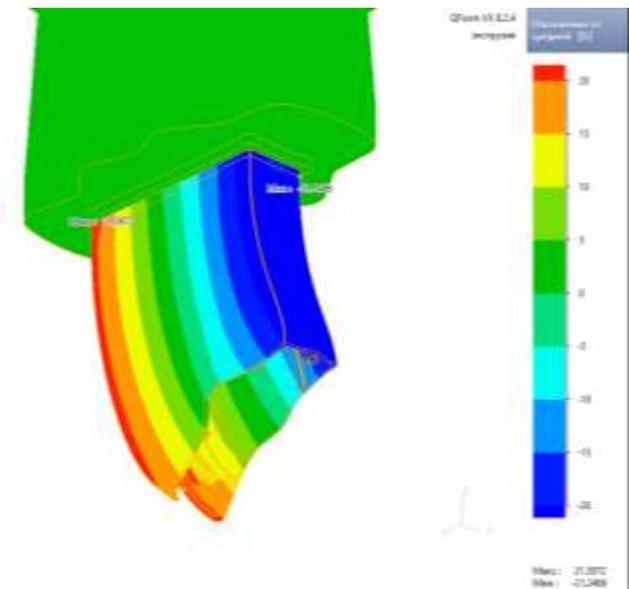


Верхняя часть профиля примерно на 2% «обгоняет» нижнюю, из-за чего происходит относительно небольшой изгиб профиля



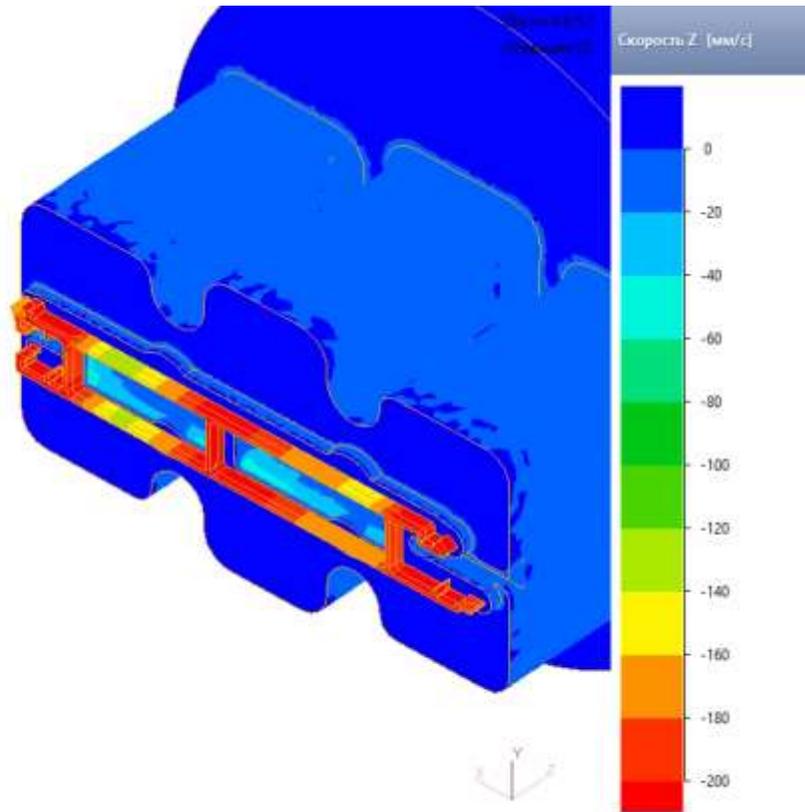
Поле отклонений от средней скорости истечения

Истечение профиля равномерное, отклонение скоростей от средней скорости по сечению не более 1,5 %

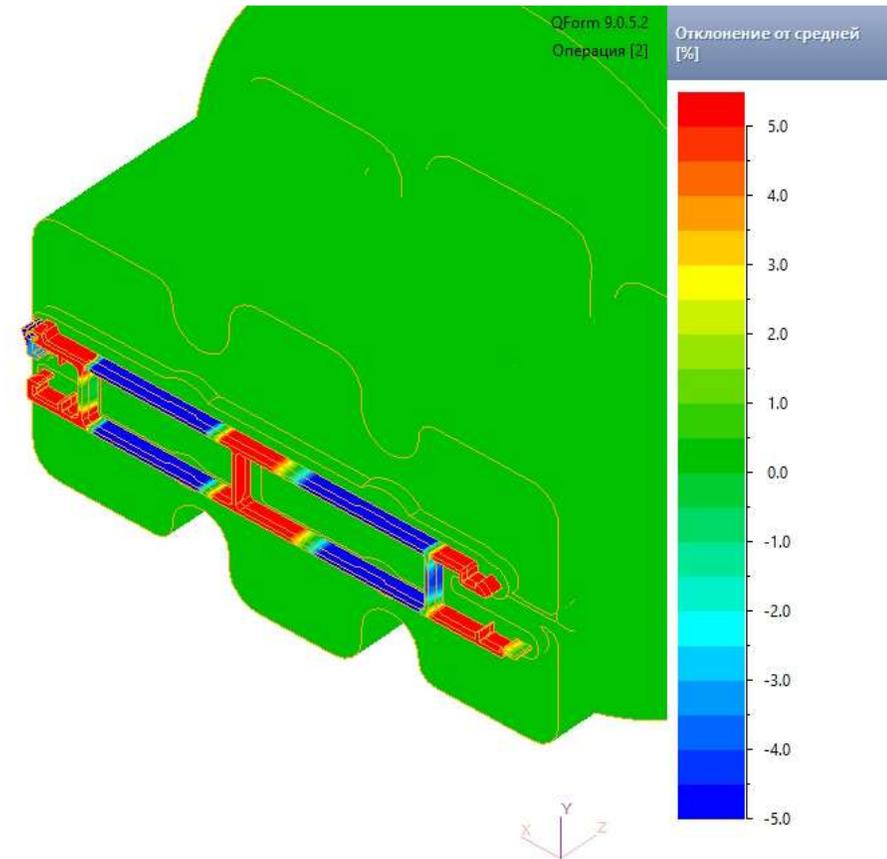


Пример со значительной разницей скоростей истечения

Анализ скоростей истечения



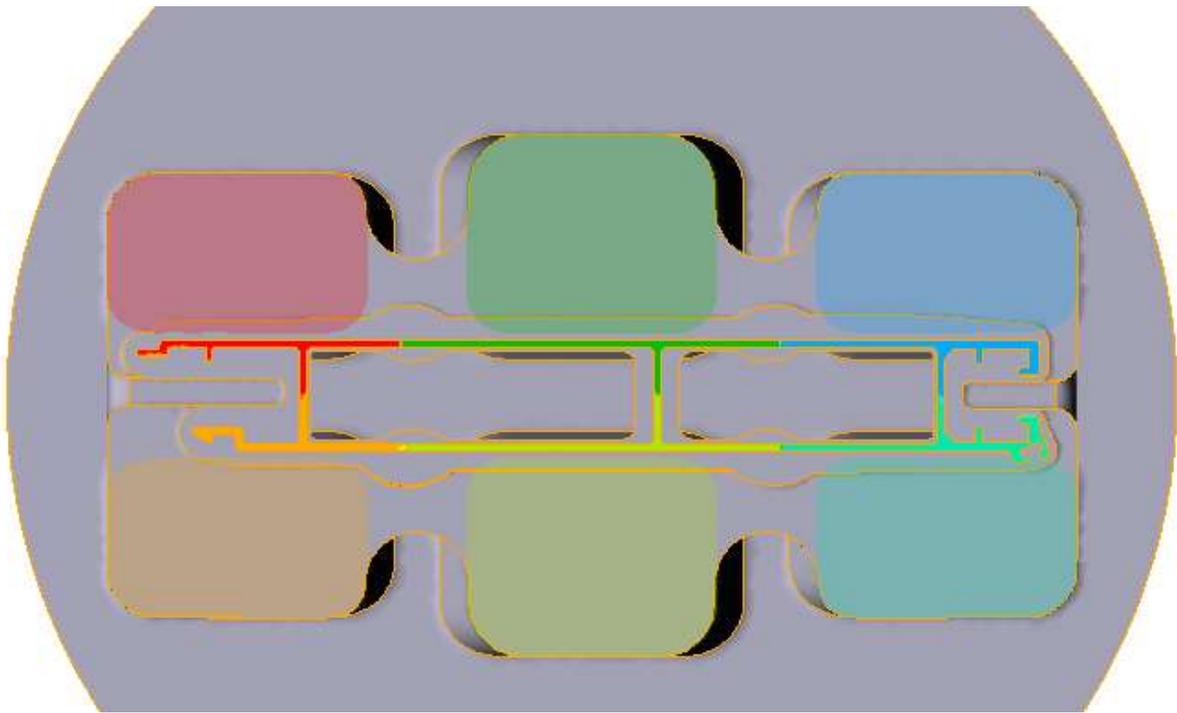
Анимация распределения скоростей истечения



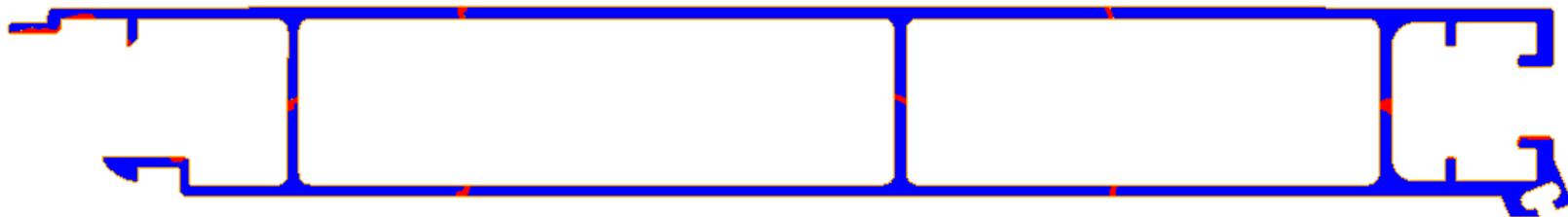
Анимация распределения отклонений скоростей от средней скорости

В процессе прессования происходит выравнивание скоростей истечения

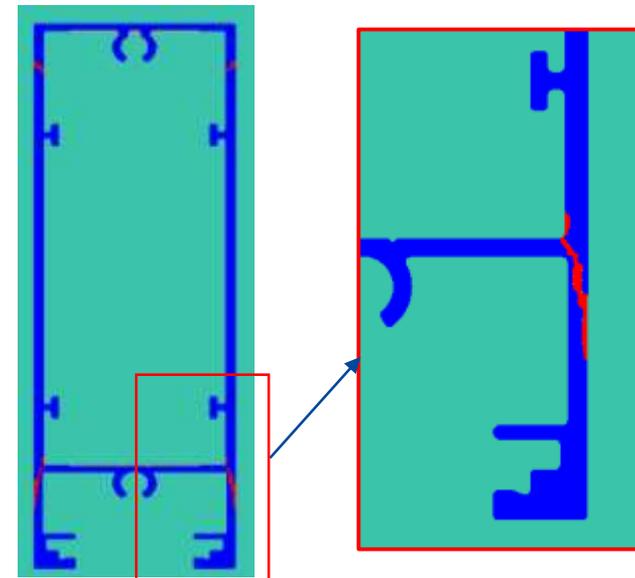
Анализ продольных швов



Цвета́ми показано из какого питателя в какое место профиля поступает металл, на стыке потоков из разных питателей образуется продольный сварной шов.



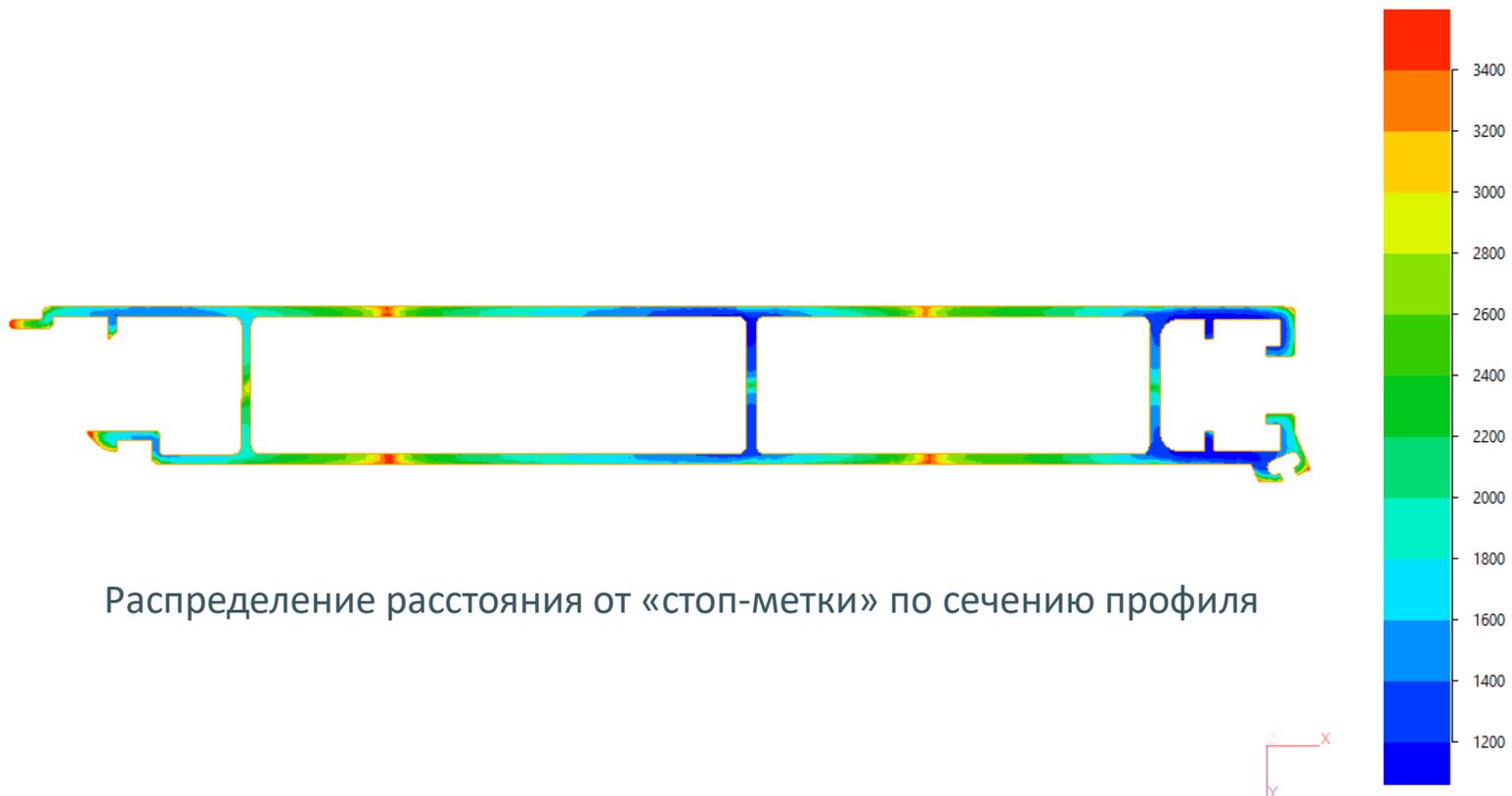
Продольные сварные швы



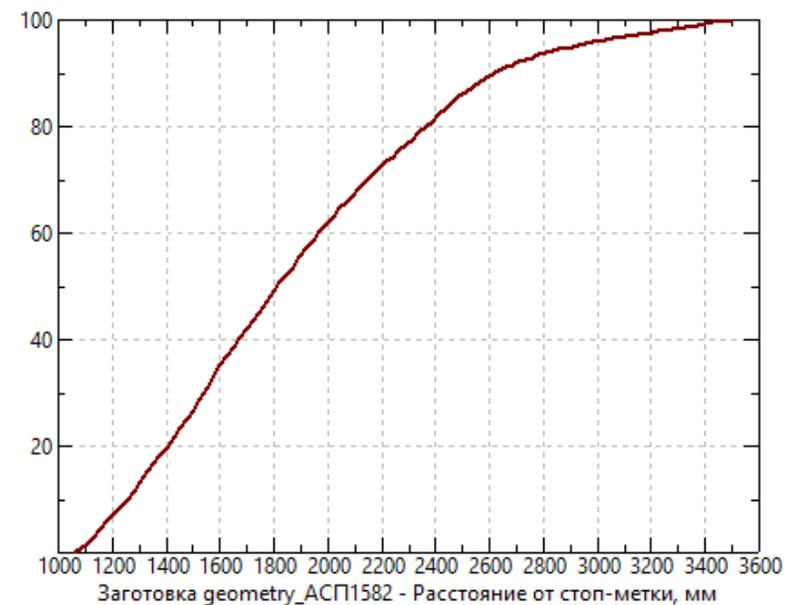
Пример с неудачным расположением сварного шва

Анализ поперечного шва (при последовательном прессовании слитков)

QForm 9.0.5.2
Операция [2] Расстояние от «стоп-метки» [мм]



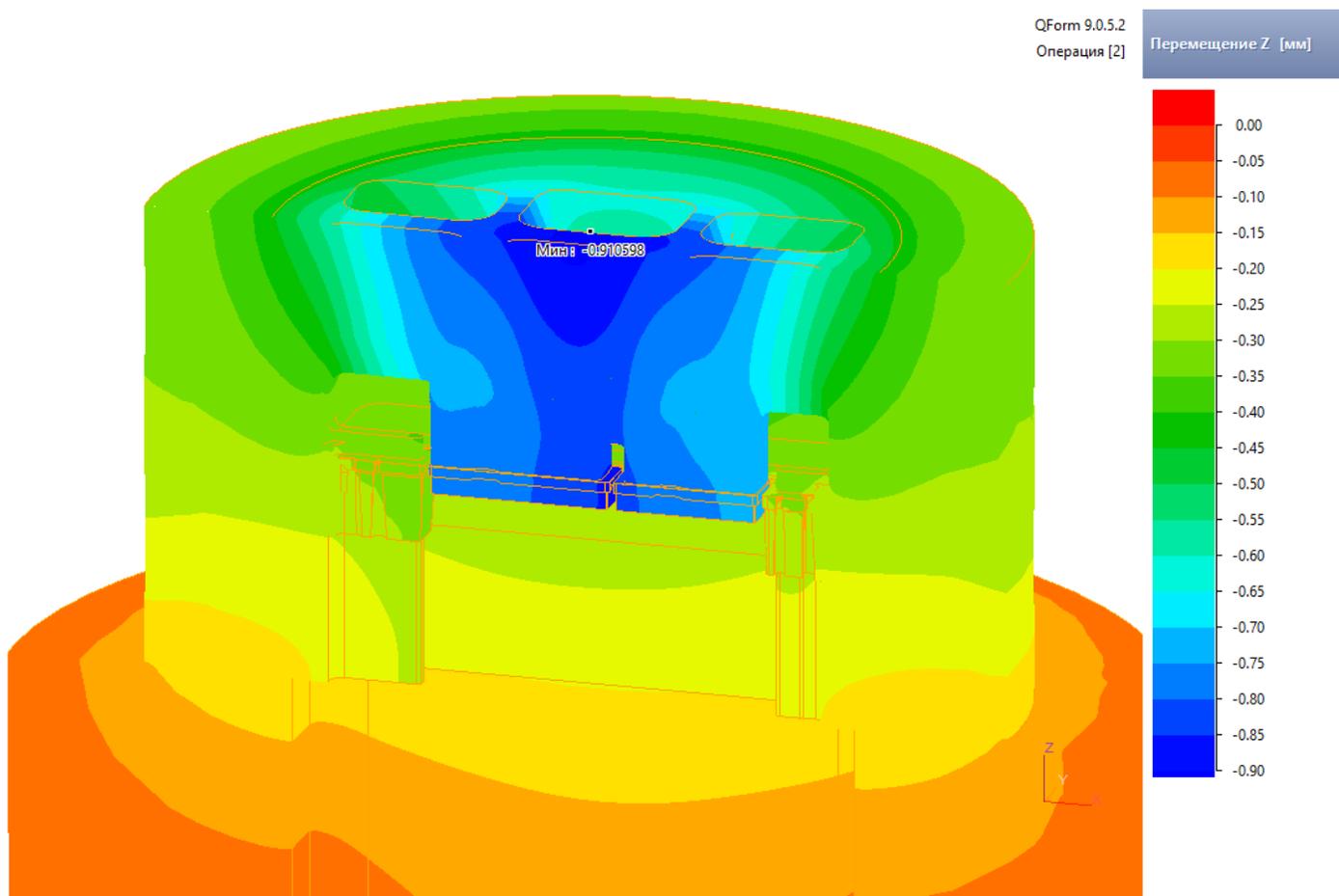
Заготовка geometry_AСП1582 - Доля нового материала (поперечный шов), %



Доля нового материала заготовки (%) в составе профиля при последовательном прессовании заготовок

Длина поперечного шва около 3,5 м.

Анализ перемещений вдоль оси прессования, силы прессования и давления в контейнере



Распределение перемещений по оси прессования (направление оси противоположно направлению течения металла).



Максимальная сила прессования составляет 2960 тс

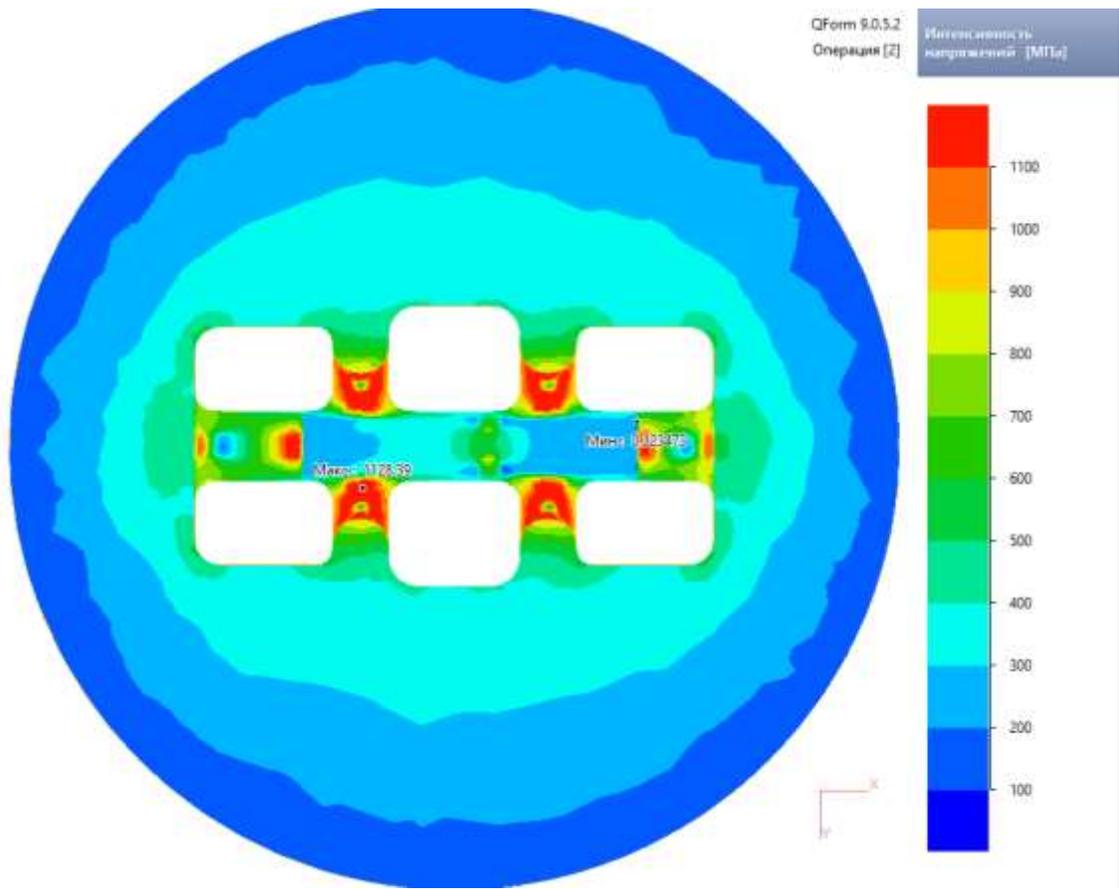
График силы прессования



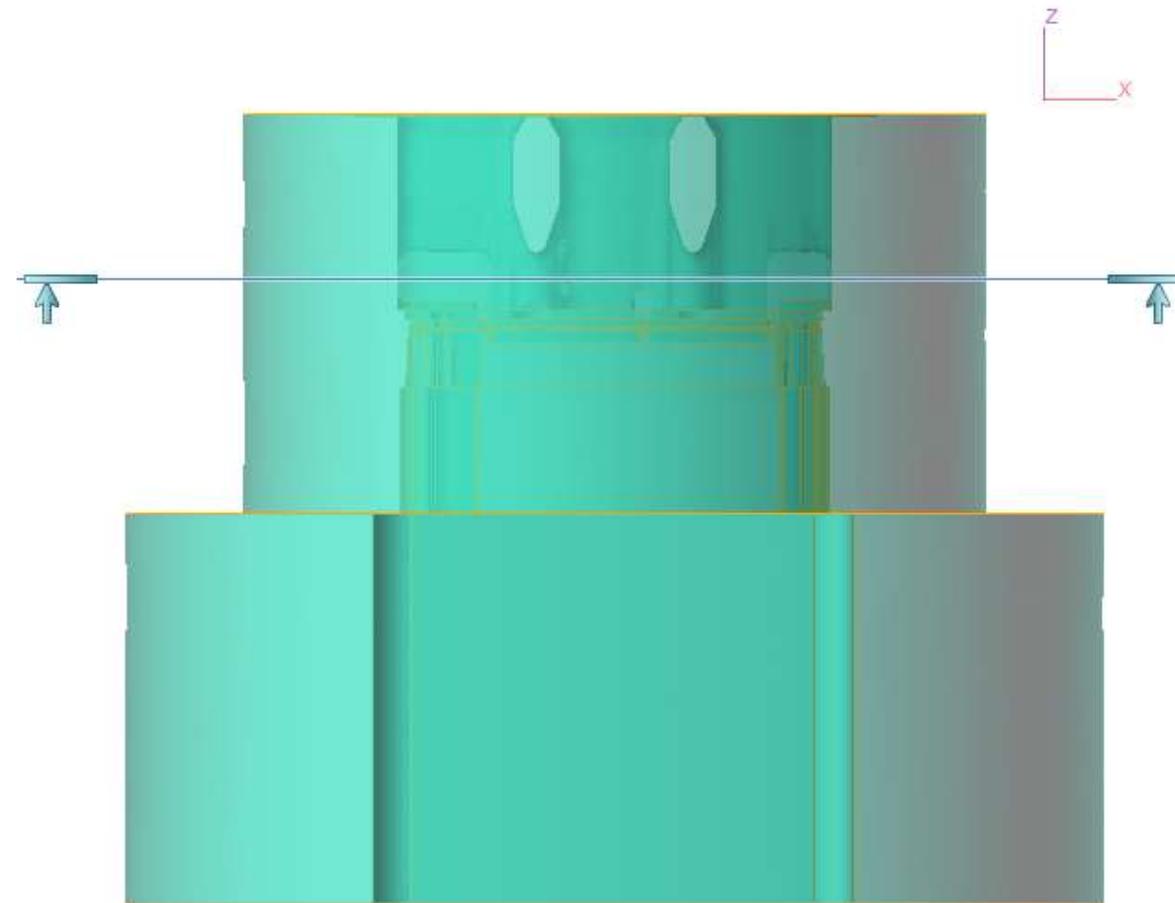
Максимальное давление распрессовки составляет около 515 МПа

График удельной силы прессования

Анализ напряженно-деформированного состояния инструмента

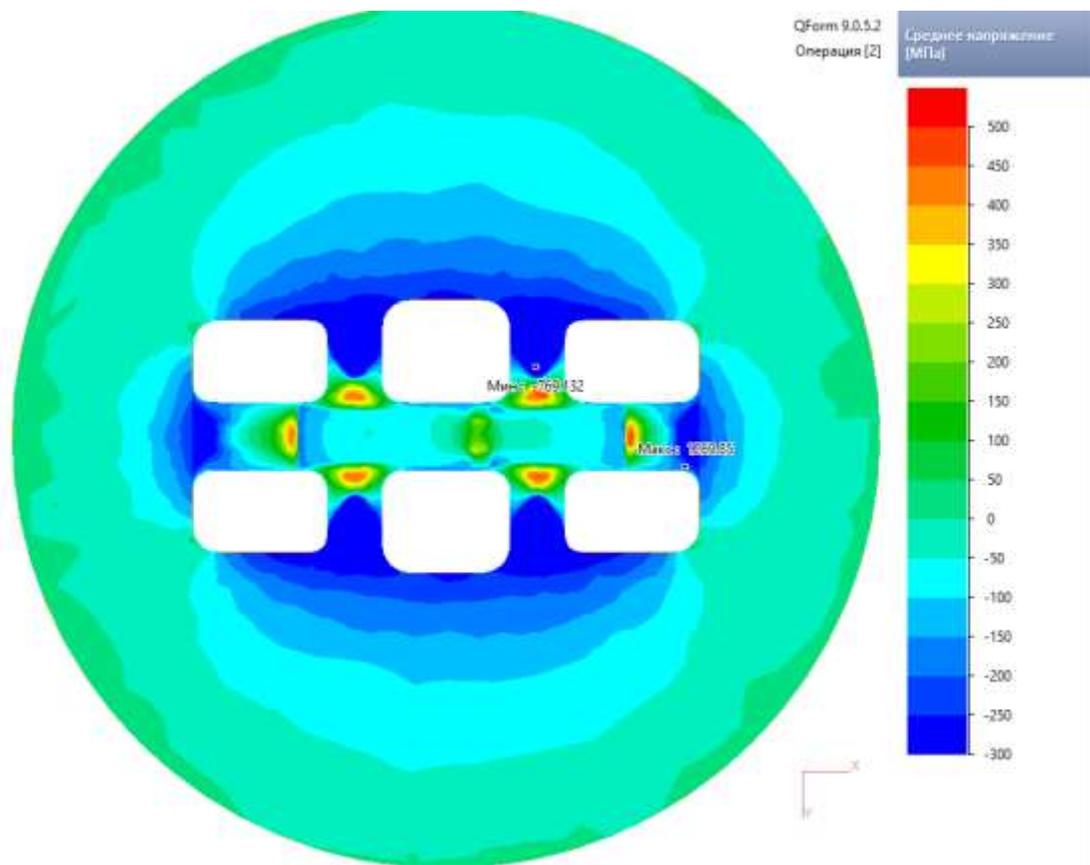


Распределение эквивалентных напряжений

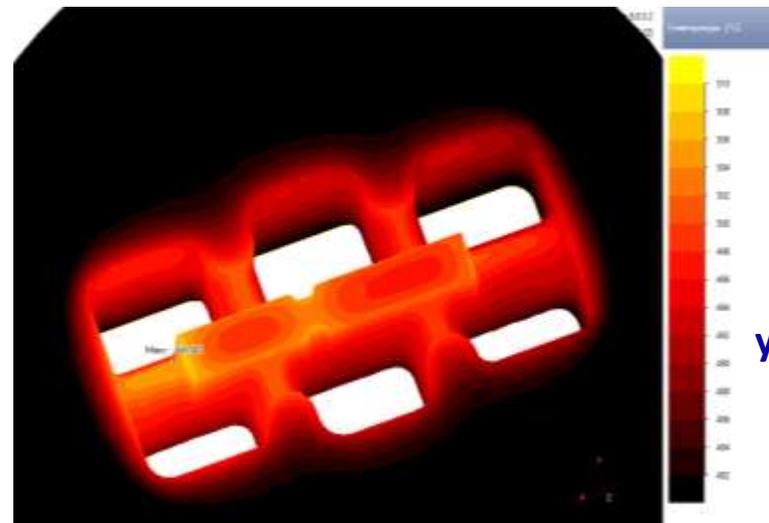


Место разреза матричного комплекта с видом на максимальные напряжения

Анализ напряженно-деформированного состояния инструмента

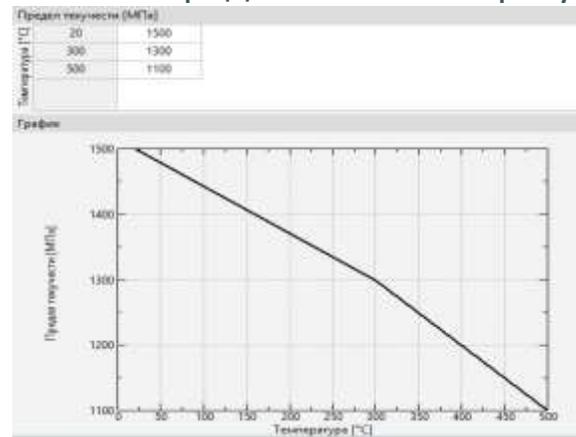


Распределение средних напряжений
В указанных местах с максимальными эквивалентными напряжениями располагаются области с неблагоприятными растягивающими напряжениями (положительные значения средних напряжений)



Температура инструмента в указанных местах около 500 °C

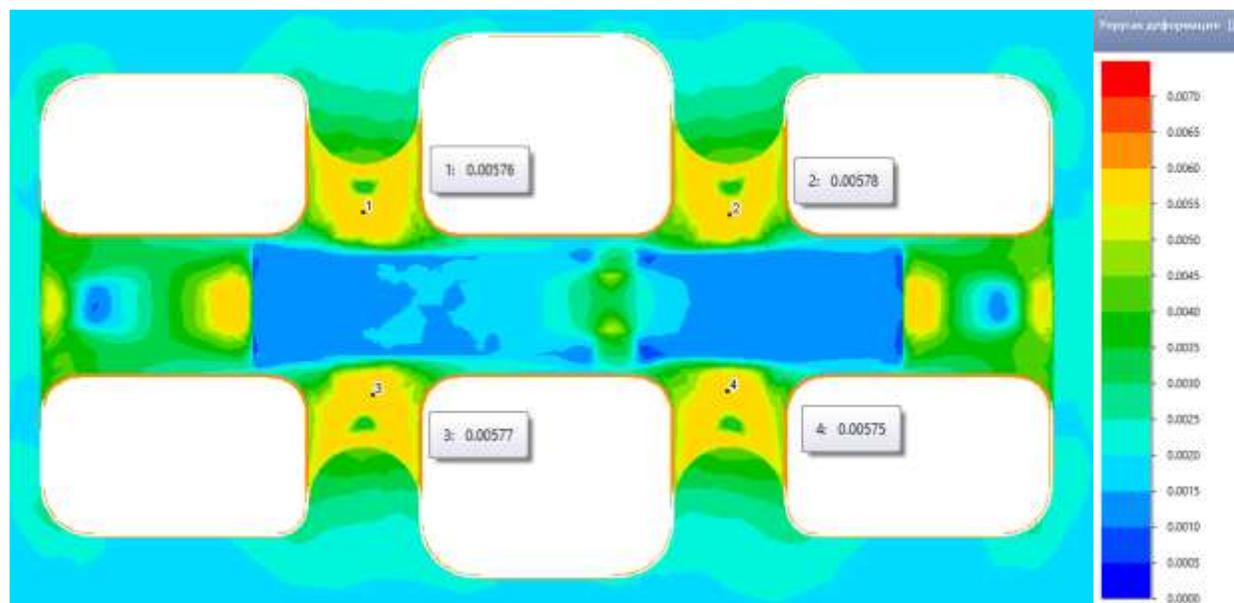
Распределение температуры



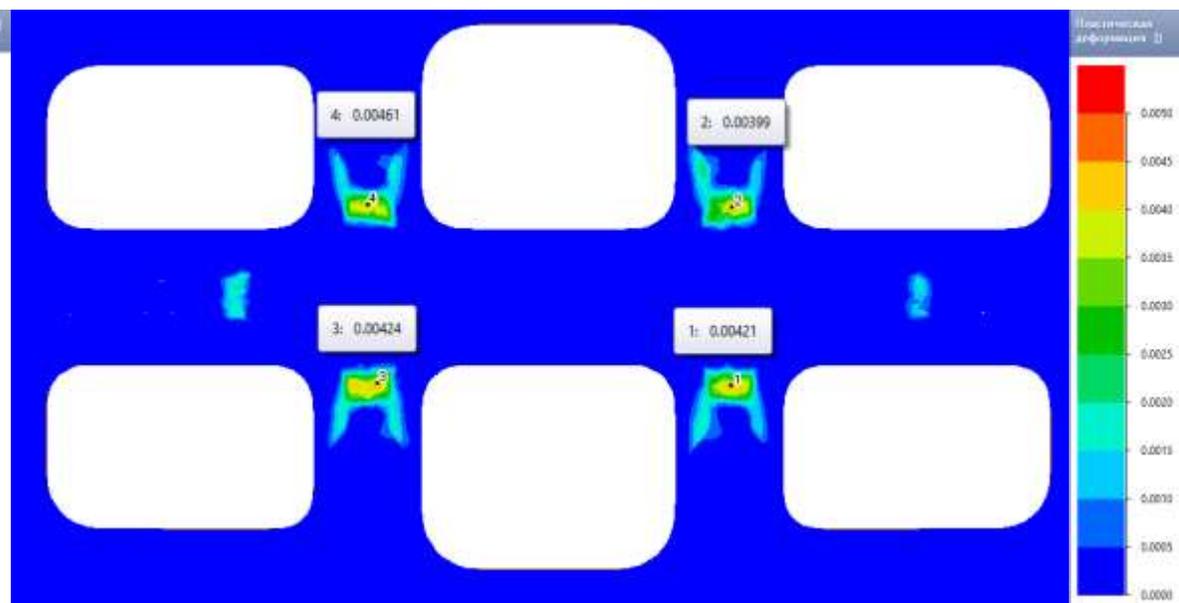
При указанной температуре напряжения текучести инструмента около 1100 МПа

Предел текучести инструмента в зависимости от температуры

Анализ напряженно-деформированного состояния инструмента

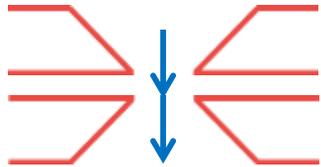


Распределение упругих деформаций в инструменте при максимальной нагрузке



Распределение пластических деформаций в инструменте при максимальной нагрузке

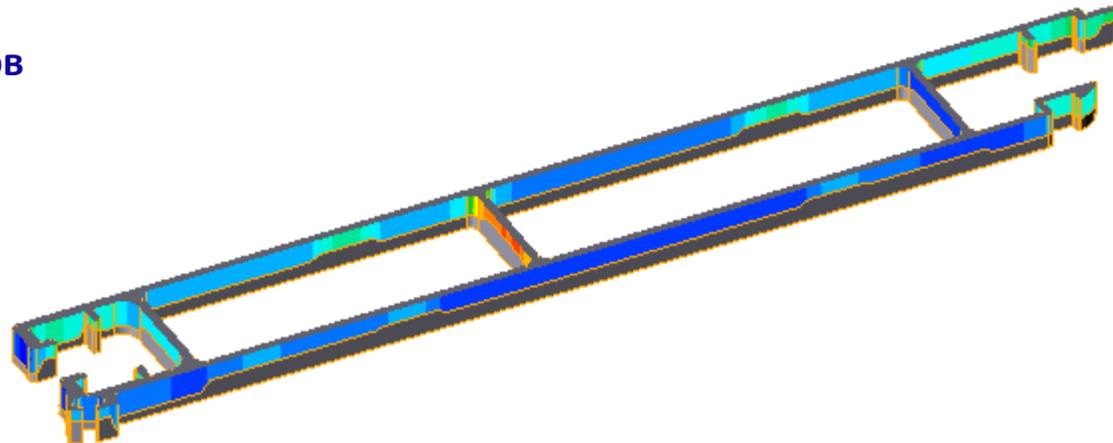
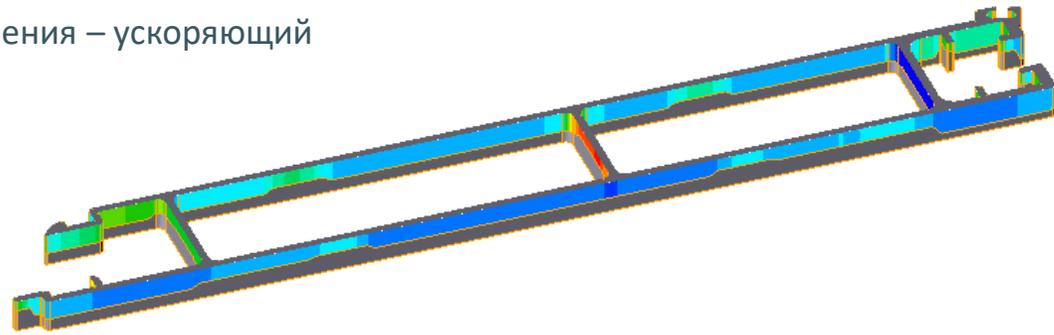
Анализ результирующего уклона поясков



Отрицательные значения – тормозящий уклон

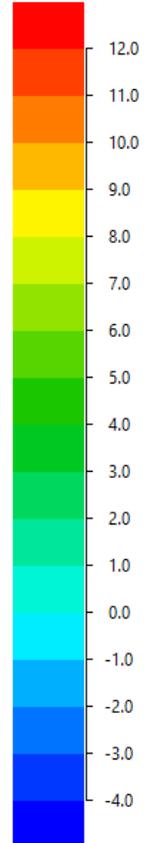
Положительные значения – ускоряющий

Показан результирующий уклон поясков с учетом исходного положения на оснастке и упругой деформации инструмента при прессовании



QForm 9.0.5.2
Операция [1]

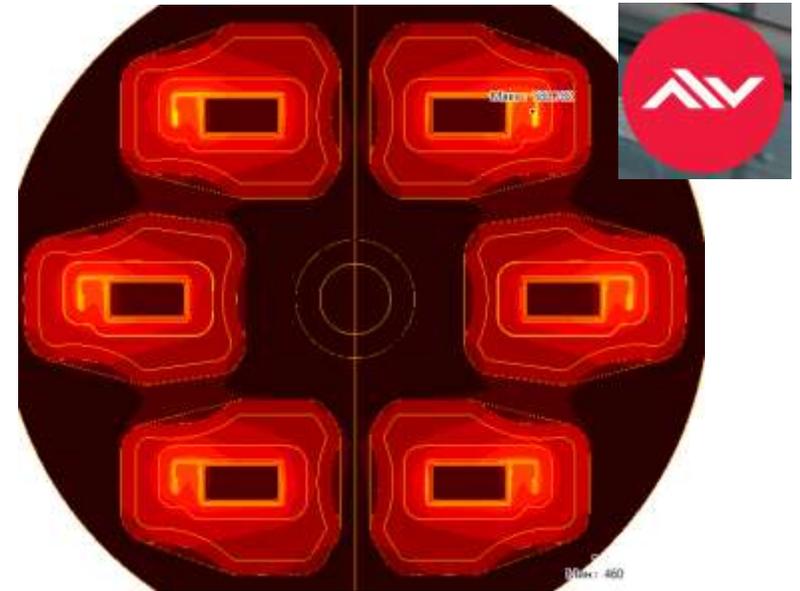
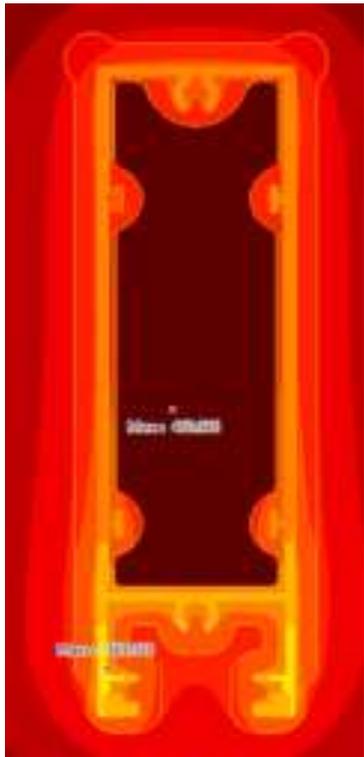
Уклон пояска суммарный
[°]



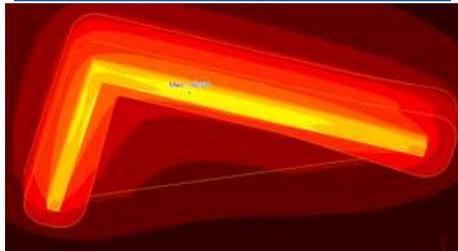
Макс : 12.0706
Мин : -4.92713

Распределение суммарного уклона пояска (угол в минутах)

Выполненные моделирования процессов прессования



АЛУНЕКСТ



LIGHT CONSTRUCTION

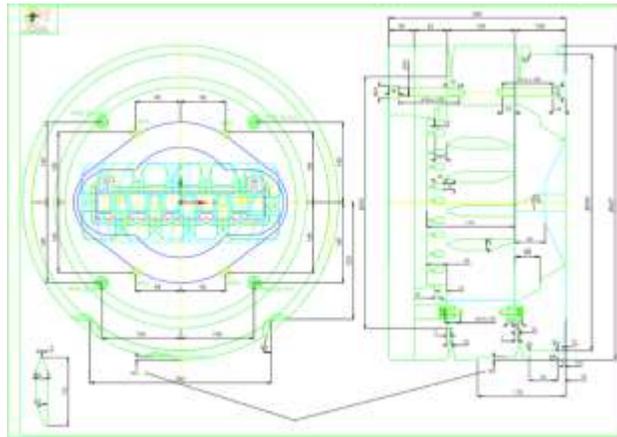


ПЕТРОКОН



Проектирование прессовой оснастки

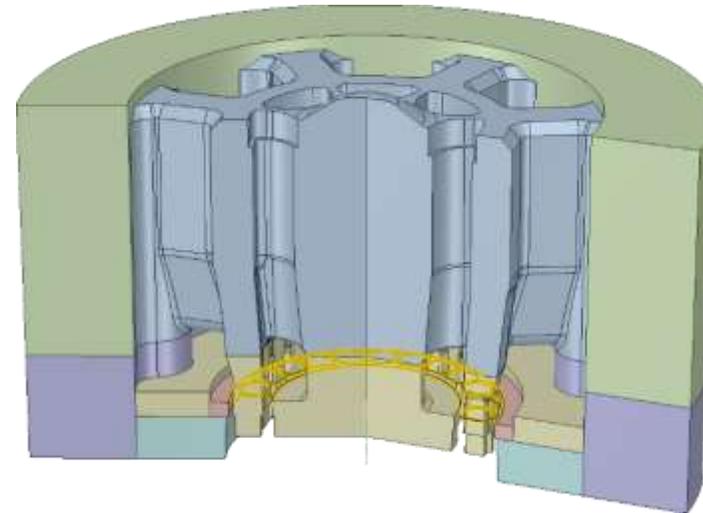
Использование QForm Extrusion Die Designer(QExDD)



2D чертеж (схема оснастки)



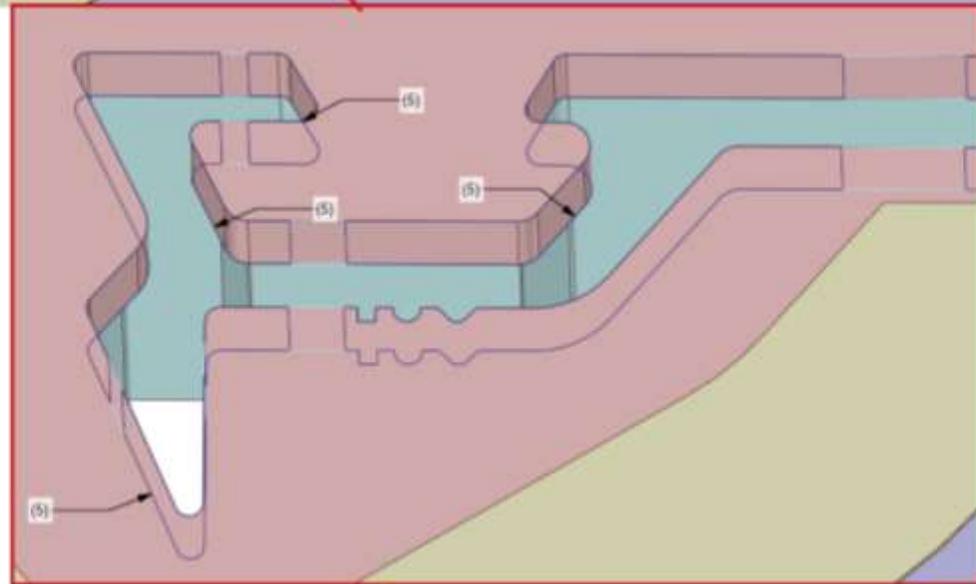
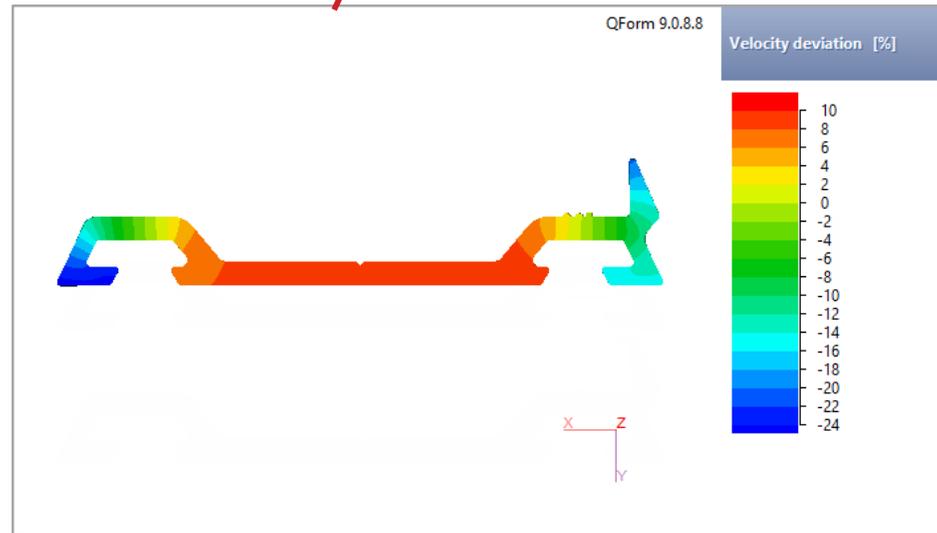
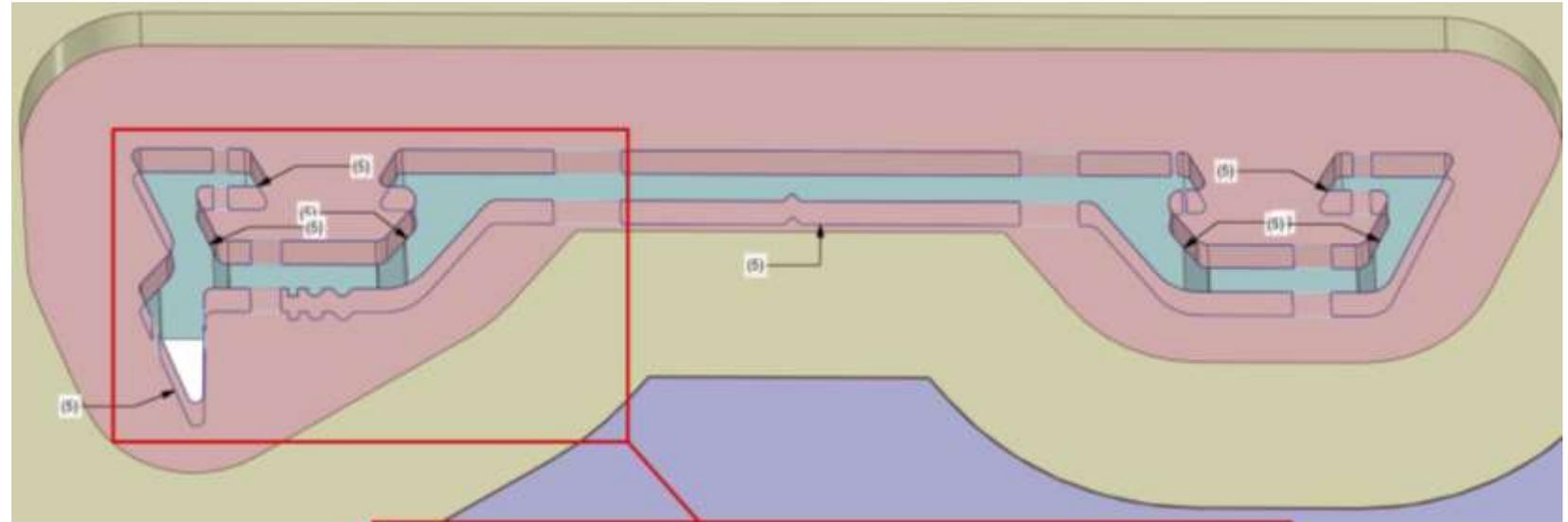
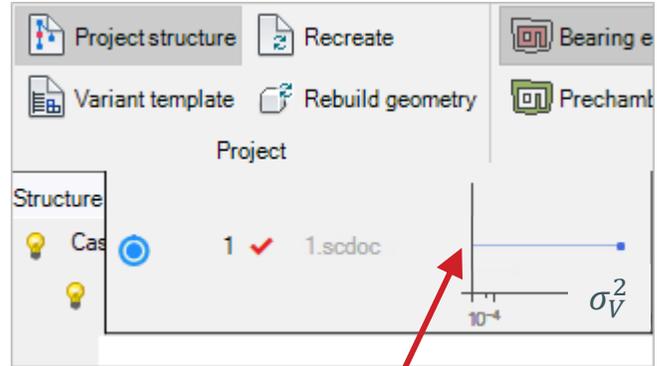
Профиль



3D модель прессового инструмента

- Ускоренное проектирование матричной оснастки на основании параметрических данных чертежа;
- Корректировка существующего инструмента;
- Модели подходят для станков ЧПУ.

Оптимизация поясков



Оптимизация поясков

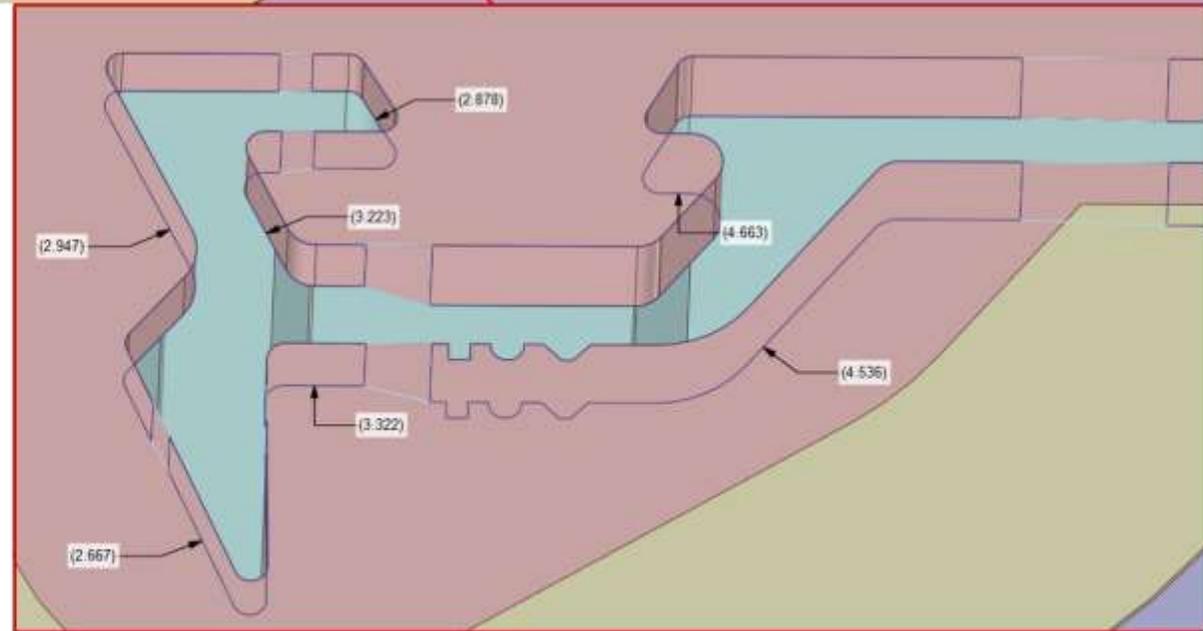
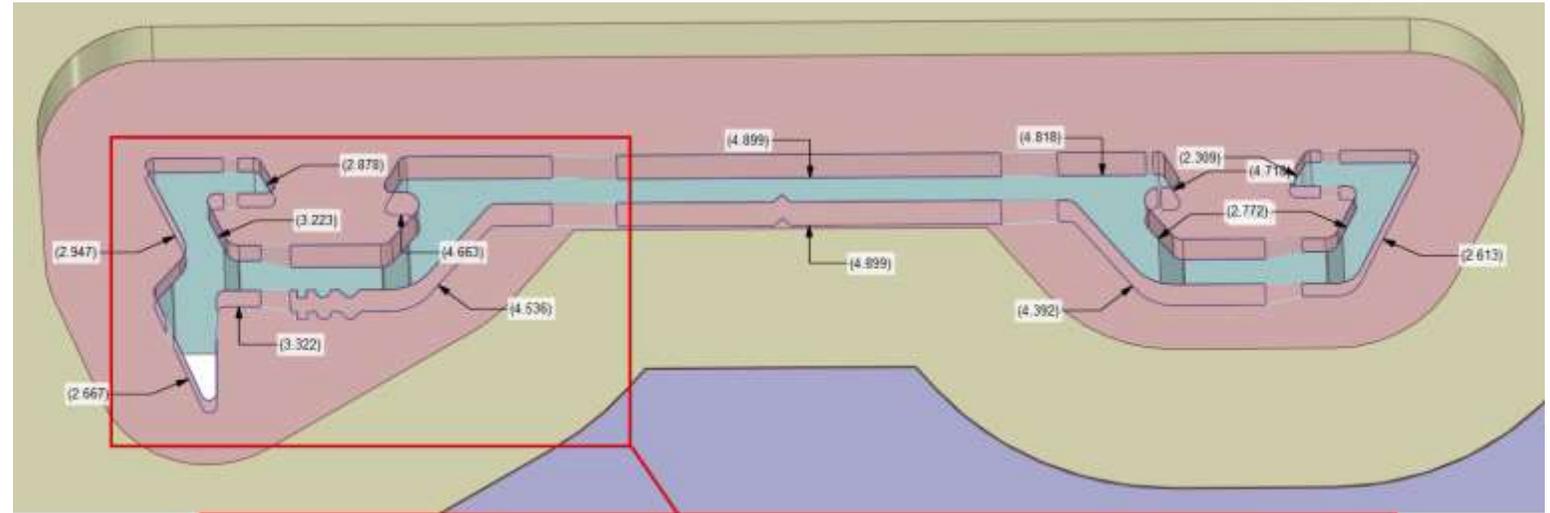
Project structure | Recreate | Bearing e

Variant template | Rebuild geometry | Precham

Project

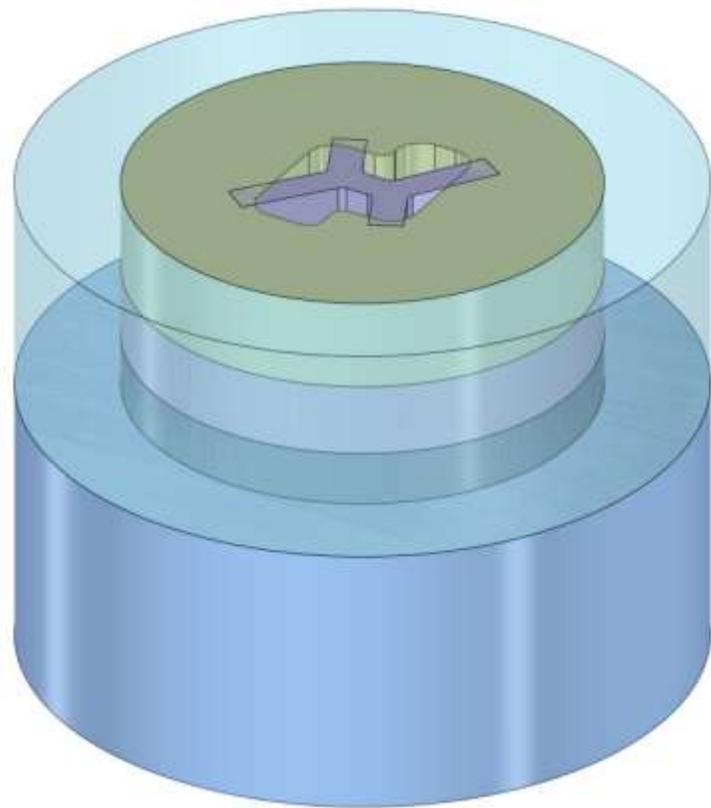
Structure	Item	Status	File
Cas	1	✓	1.scdoc
	2	✓	2.scdoc

σ_V^2



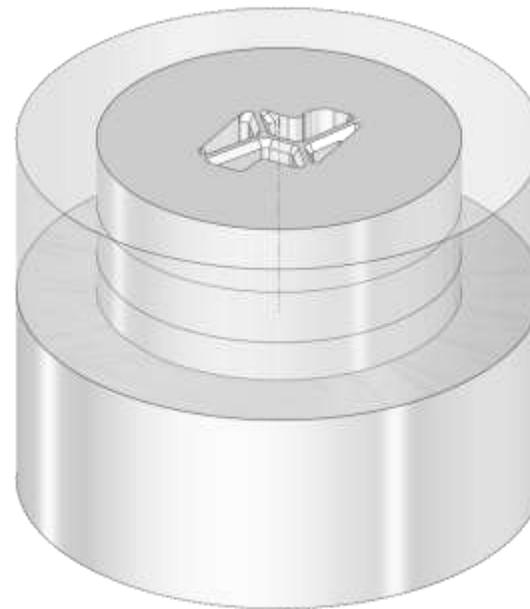
Optimized bearings

Завершение модели и механическая обработка

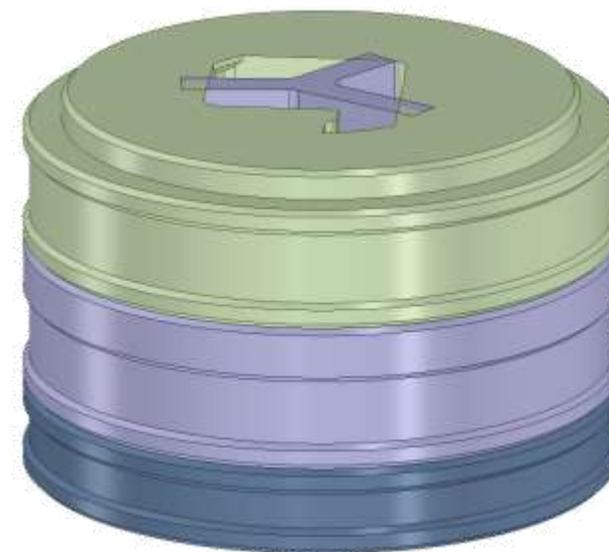
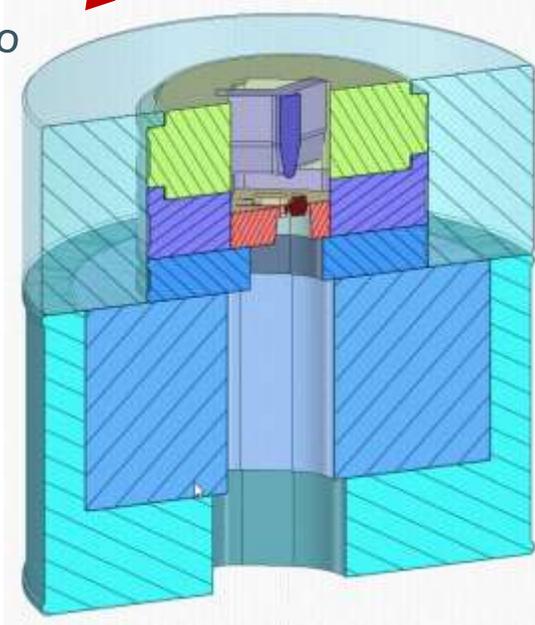


моделирование

- Dieholder
- Mandrel
- Dieplate
- Backer
- Bolster
- Pressure ring
- +

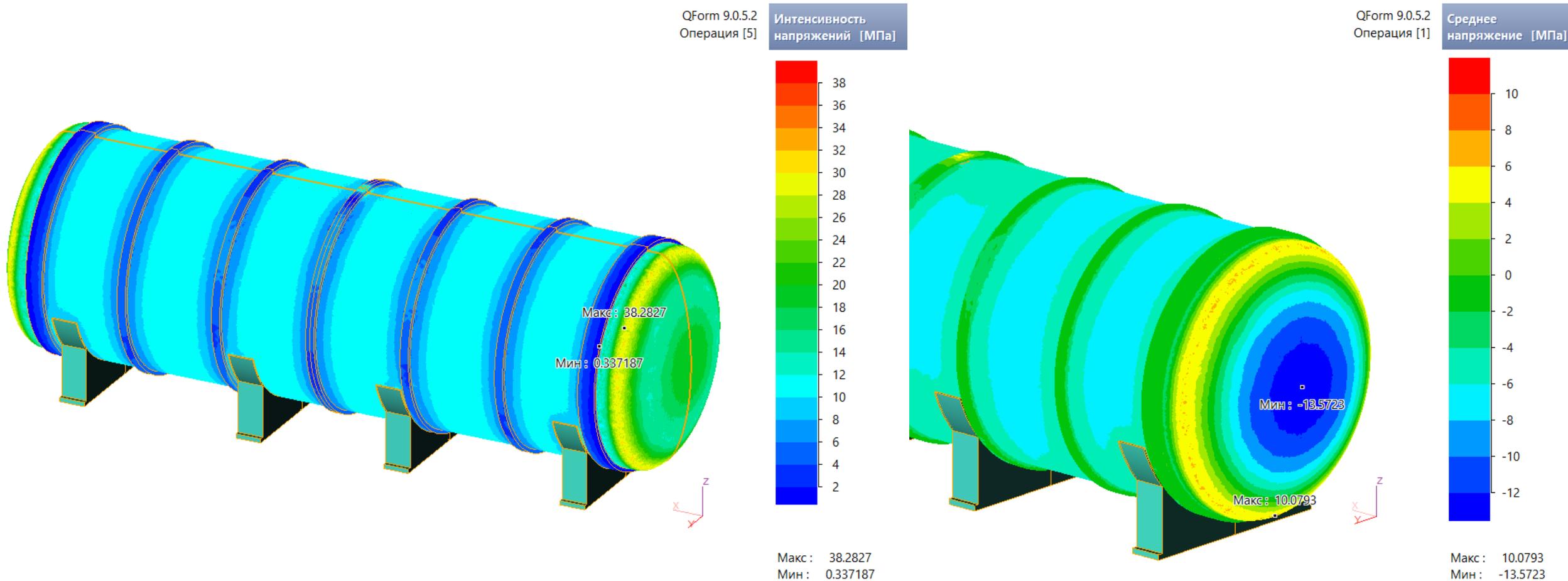


Производство



Прочностной расчет вакуумной камеры

Длина 8м, диаметр 2,5м, толщина стенки 10 мм, материал –
алюминиевый сплав разработки Русал



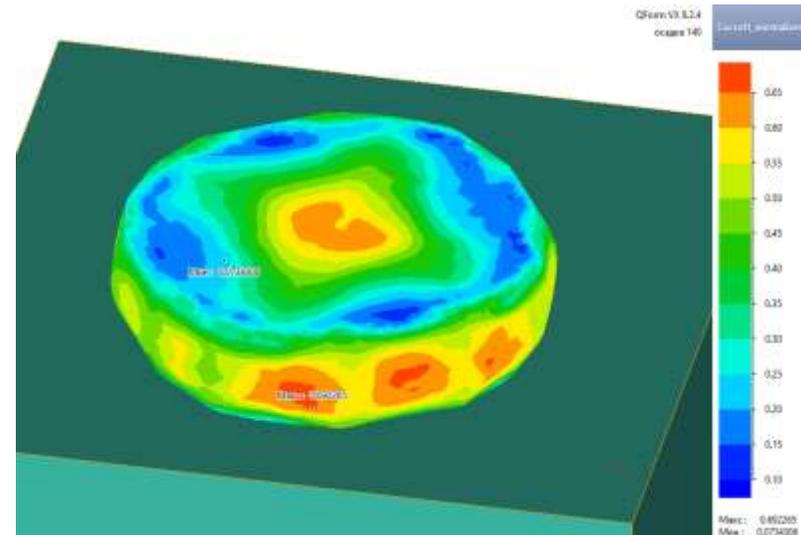
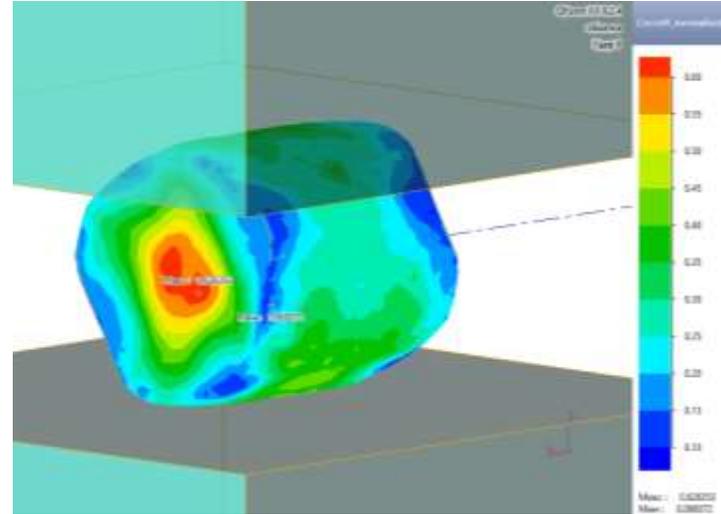
Эквивалентные напряжения в 2,5 раза ниже предела текучести сплава

Ковка слитков

Цель моделирования: разработка режима ковки, обеспечивающего получение бездефектной поковки



Опытная ковка



Моделирование по режиму опытной ковки

Использование критерия разрушения Кокрофта-Латама

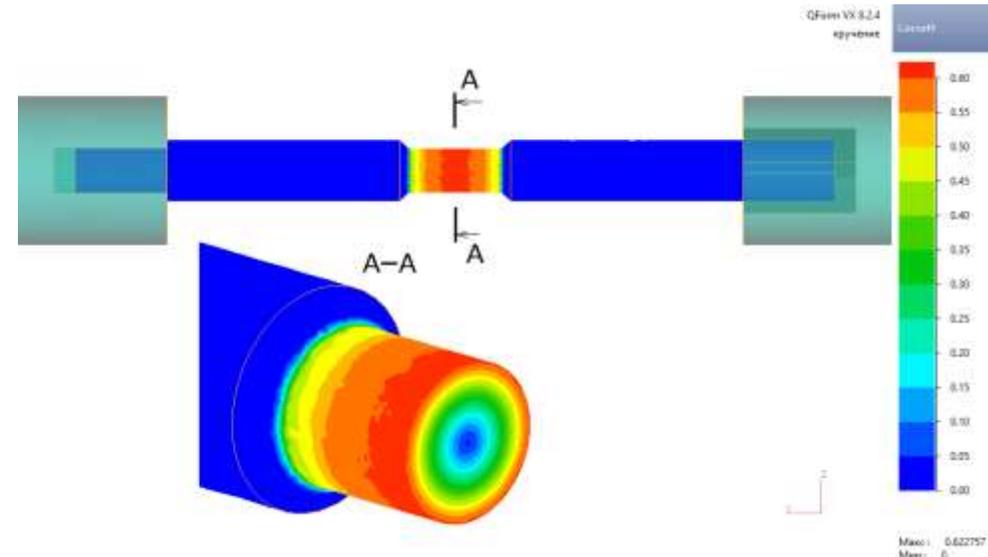
Проведена оценка пластичности сплава в испытаниях на кручение до разрушения



Внешний вид образца для испытаний на кручение



эквивалентная деформация до начала разрушения максимальна при температуре 400°C и снижается при уменьшении или увеличении температуры относительно это значения.



Распределение значений критерия разрушения Кокрофта-Латама при угле разрушения



Пределное значение критерия разрушения Кокрофта-Латама в зависимости от температуры образца

Оптимизация режима ковки

Режимы ковки цилиндрических слитков диаметром 270 мм (D_0) и высотой 640мм (H_0).

№	Операция	Расстояние между инструментами	Примечание
1	Двухступенчатая осадка	$0,65H_0$ и $0,47H_0$	Выдержка 30с между осадками
2	Протяжка на квадрат	$0,42H_0$ первый удар и $0,5H_0$ второй удар	Кантовка на 90° , протяжка вдоль оси заготовки
3	Осадка	$0,47H_0$	
4	Обкатка на круг 360 мм	Диаметр $0,55 H_0$	
5	Двухступенчатая осадка	$0,4H_0$ и $0,22H_0$	



Годная поковка по разработанной технологии ковки

Правильность выбранных режимов была подтверждена на практике получением годных поковок.

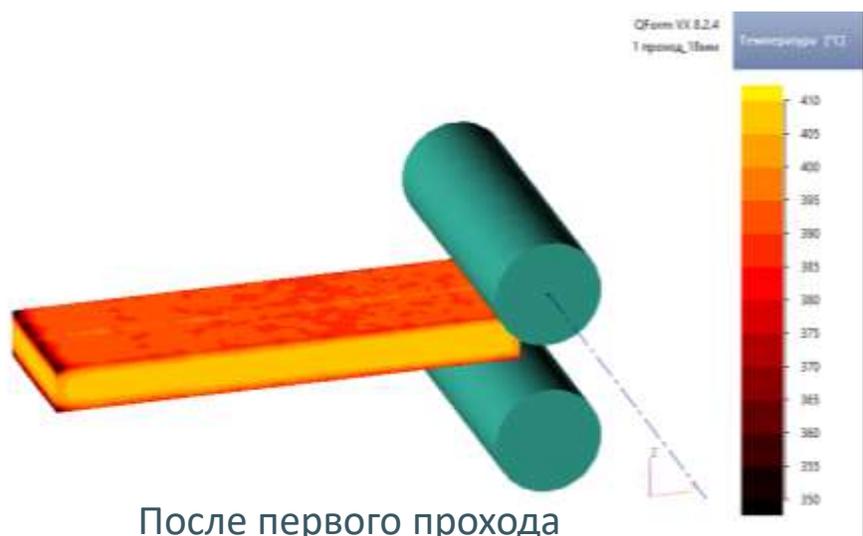
Моделирование прокатки крупногабаритных слитков ²³

Цель моделирования: разработка режимов прокатки

Исходные данные:

- диаметр валков 965мм;
- размеры исходной заготовки 1320x445x4000мм;
- температура нагрева под прокатку 410 °С.

Моделируется ¼ часть заготовки (2 плоскости симметрии).



№ прохода	Обжатие, мм	Степень обжатия, %	Толщина, мм	Скорость прокатки, м/с	Пауза, с
			445		
1	18	4%	427	0,50	10,0
2	18	4%	409	0,50	10,0
3	18	4%	391	0,50	10,0
4	18	5%	373	0,50	10,0
5	18	5%	355	0,50	10,0
6	18	5%	337	0,50	10,0
7	15	4%	322	1,00	10,0
8	15	5%	307	1,00	15,0
9	15	5%	292	1,00	15,0
10	15	5%	277	1,00	15,0
11	15	5%	262	1,00	15,0
12	15	6%	247	1,00	15,0
13	15	6%	232	1,00	60,0
14	15	6%	217	1,00	28,0
15	15	7%	202	1,00	10,0
16	12	6%	190	1,00	15,0
17	12	6%	178	1,00	15,0
18	12	7%	166	1,00	15,0
19	12	7%	154	1,00	15,0
20	12	8%	142	1,00	15,0
21	12	8%	130	1,00	15,0
22	12	9%	118	1,00	15,0
23	12	10%	106	1,50	15,0
24	12	11%	94	1,50	15,0
25	12	13%	82	1,50	15,0
26	12	15%	70	1,50	15,0
27	11	16%	59	1,50	15,0
28	11	16%	59	1,50	15,0
29	11	23%	37	1,50	15,0
30	8	22%	29	2,00	15,0
31	6	21%	23	2,00	15,0
32	5	22%	18	2,00	15,0
33	4	22%	14	2,00	15,0
34	3	21%	11	2,00	15,0
35	3	27%	8	2,00	

Анализ формы проката, распределения температуры, силы и крутящего момента



Форма поперечного сечения раската после 26-го прохода.
Толщина раската 70мм

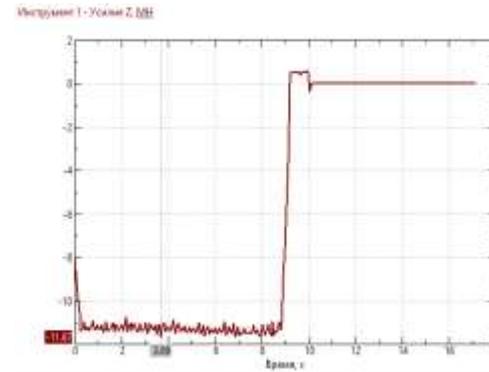
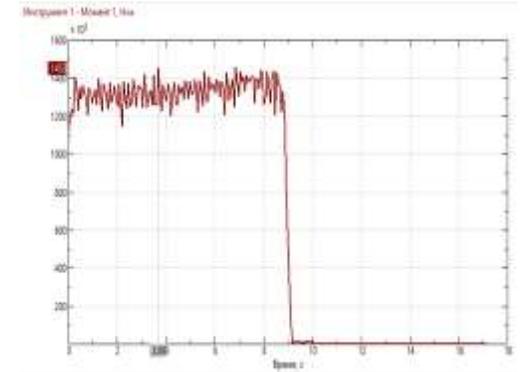
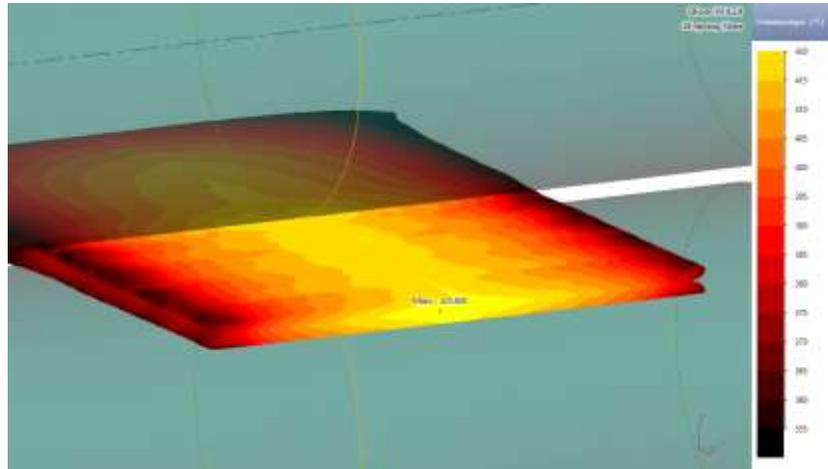


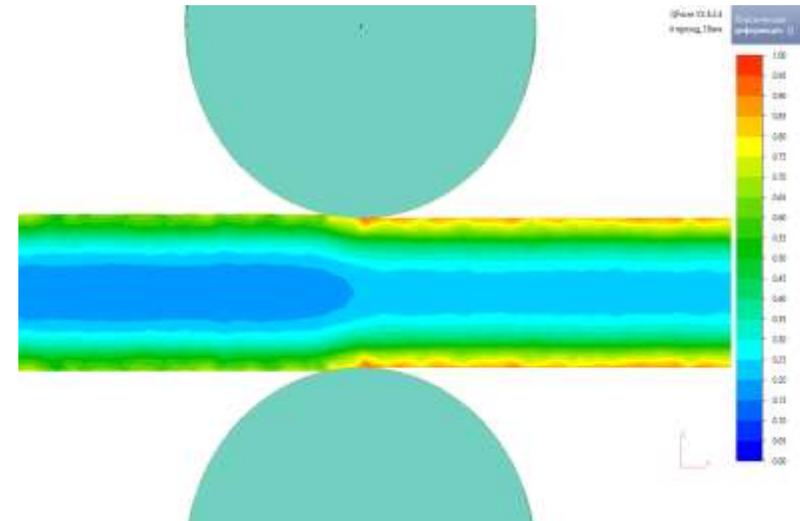
График силы



Крутящий момент



Распределение температуры по сечению
раската после 26-го прохода

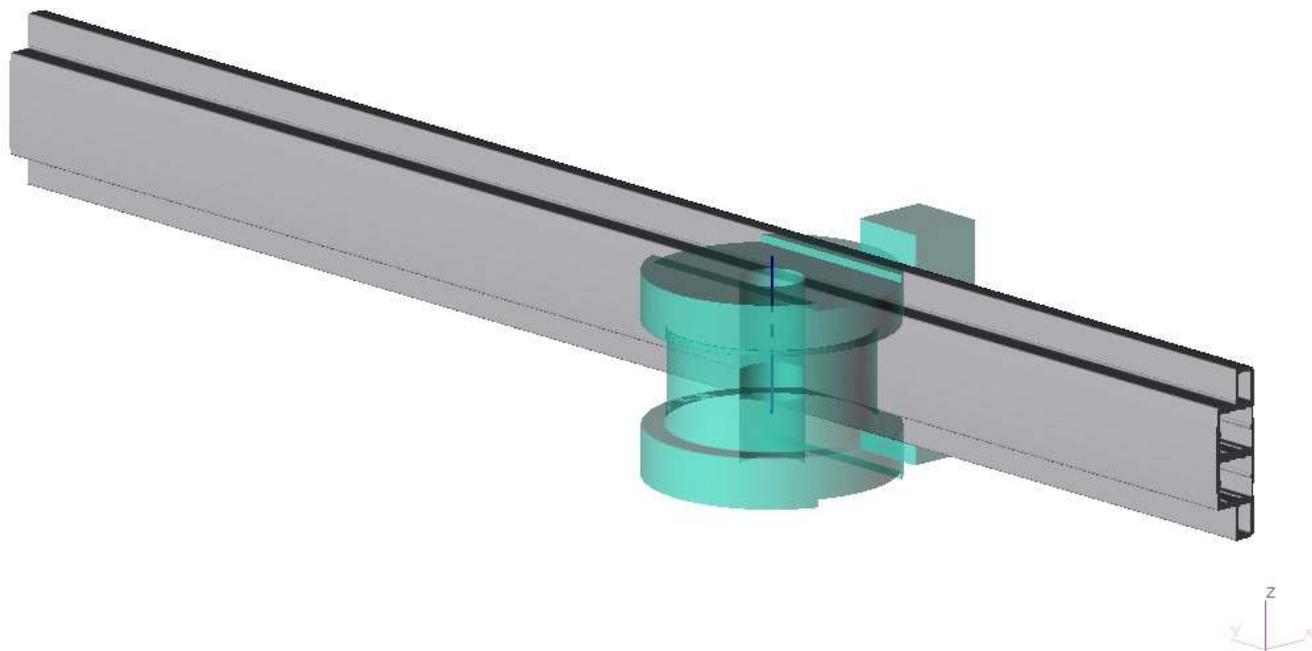


Распределение пластической деформации после 4-го прохода

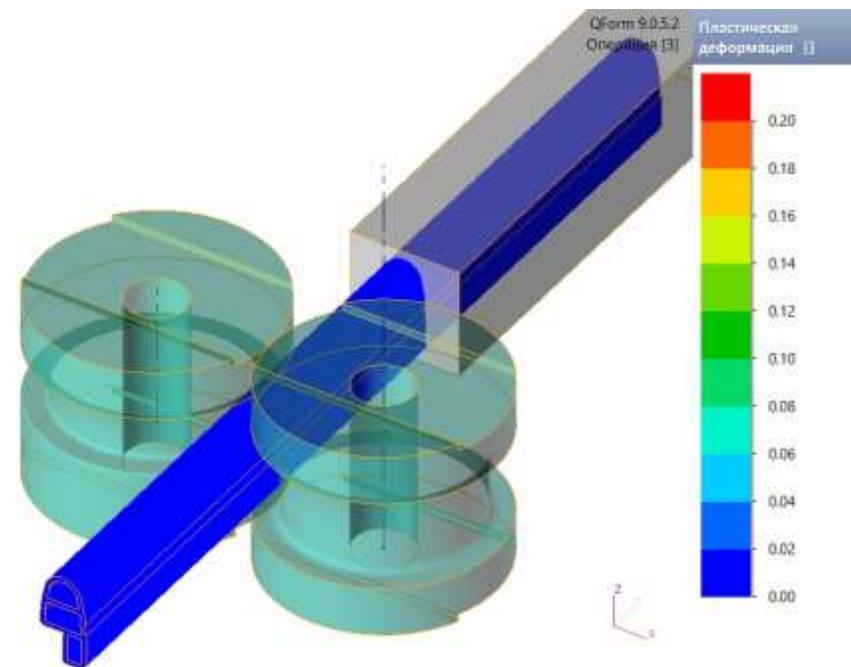
Моделирование гибки профилей

Цель моделирования – определить режим термообработки профилей, который будет обеспечивать необходимый уровень механических свойств и достаточную пластичность для успешного осуществления процесса гибки на большой угол.

QForm 9.0.5.2
Операция [2]



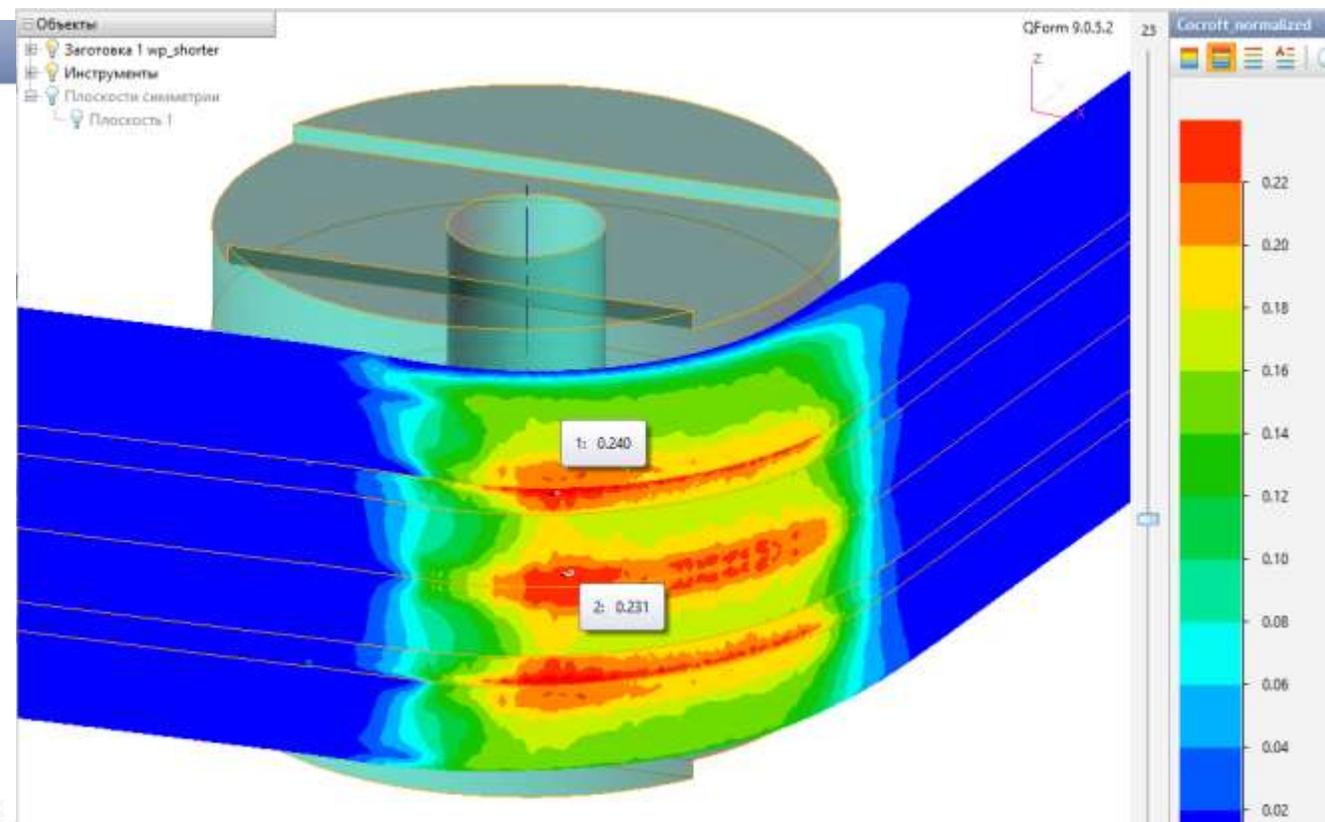
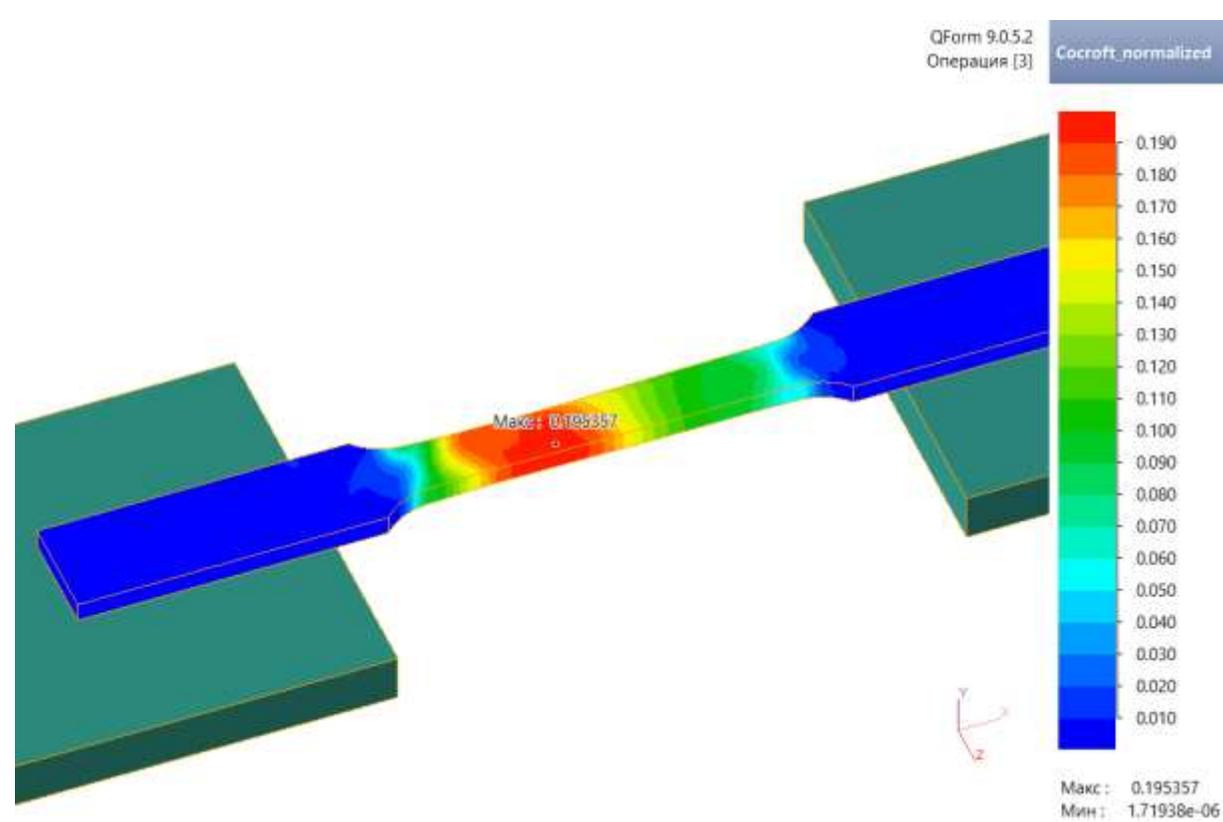
Профиль тип 1



Профиль тип 2

Моделирование базового процесса гибки

Использовалась модель материала на основе диаграммы растяжения образцов с базовой термической обработкой



Предельное значение критерия разрушения



Кокрофта-Латама составило 0,195

Максимальное значение критерия разрушения в базовом процессе
более 0,24



Наши возможности

- Разработка технологических процессов изготовления новых деталей методом обработки давлением;
- Разработка оптимальных технологических параметров процесса обработки давлением для новых сплавов.