



QForm: моделирование технологических процессов ОМД, прокатки, прессования и термообработки

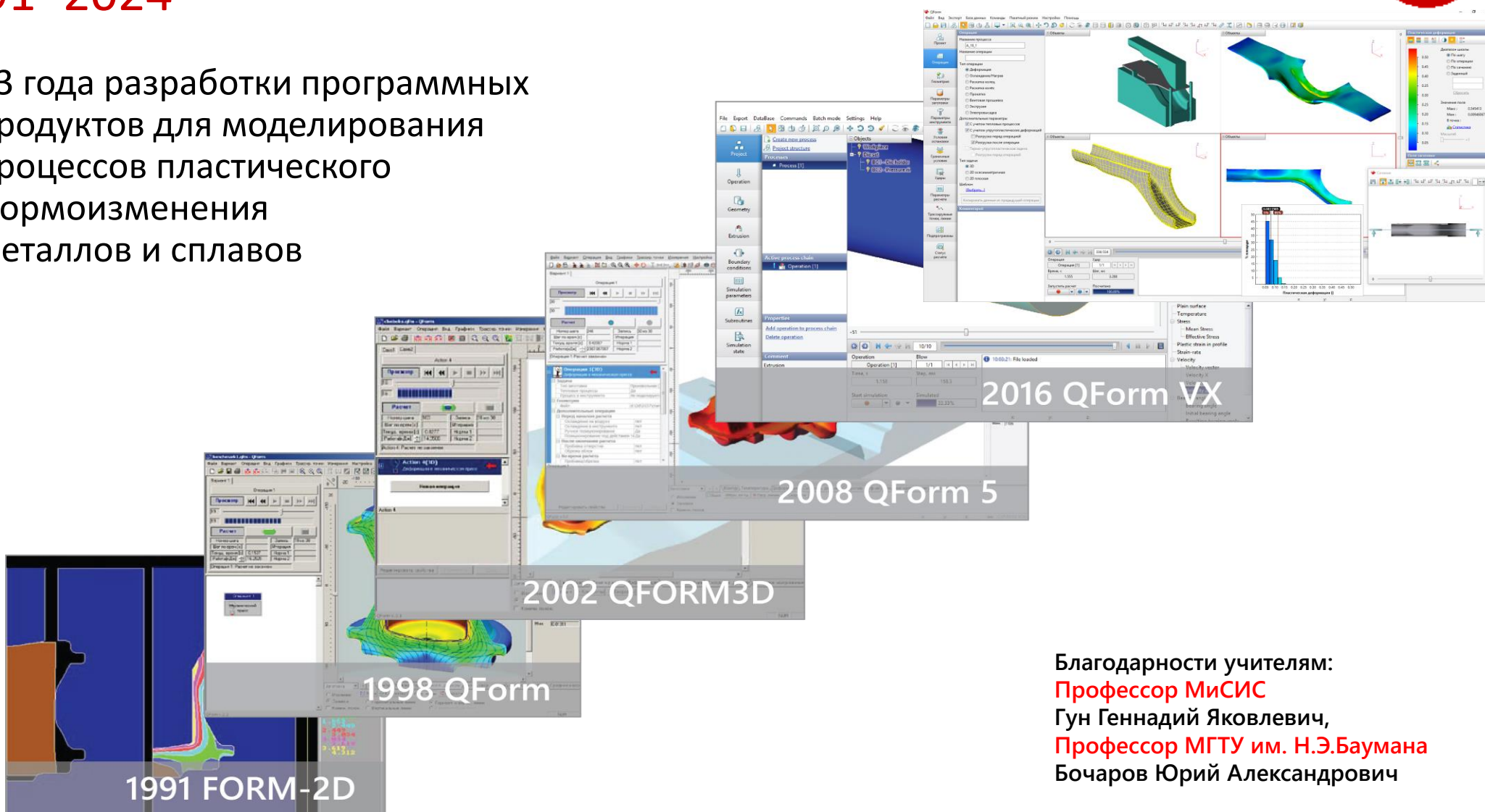
Гладков Юрий Анатольевич

Директор по продажам и сопровождению
ООО «КванторФорм»,
к.т.н., доцент каф. МТ-6 МГТУ им. Н.Э.Баумана

2025

ООО «КванторФорм»
<https://qform3d.ru/>
gladyuri@qform3d.ru

33 года разработки программных
продуктов для моделирования
процессов пластического
формоизменения
металлов и сплавов



Благодарности учителям:
Профессор МиСИС
Гун Геннадий Яковлевич,
Профессор МГТУ им. Н.Э.Баумана
Бочаров Юрий Александрович



QForm в мире



Представительства и партнеры QForm в 24 странах мира

Пользователи - в 51 стране

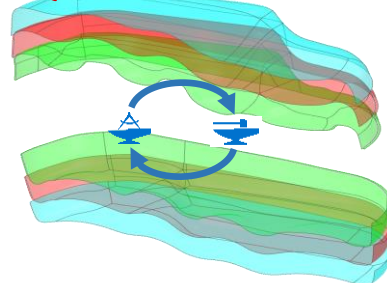


QForm применяется для процессов:

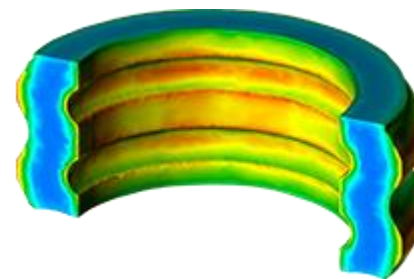


Объемная
штамповка

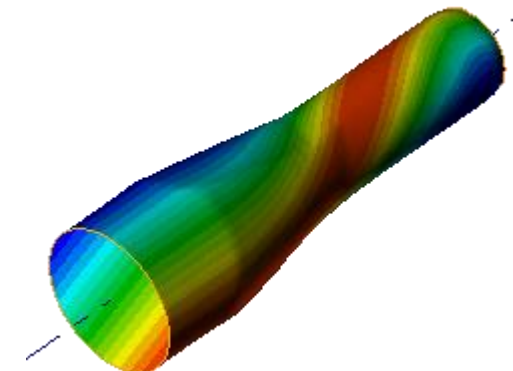
QForm Direct



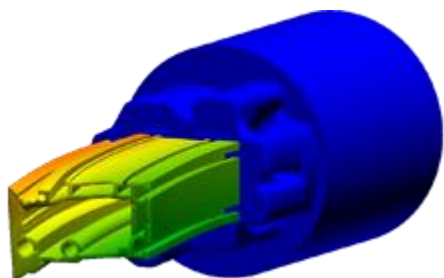
САПР переходов штамповки



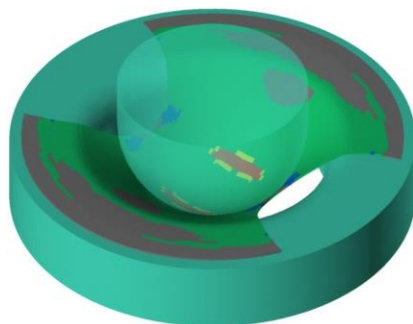
Раскатка



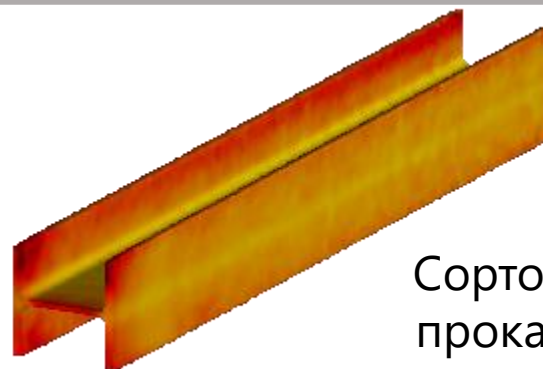
Винтовая прокатка



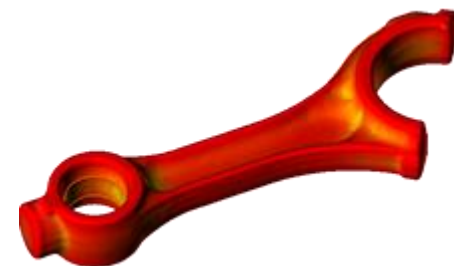
Прессование



Листовая штамповка



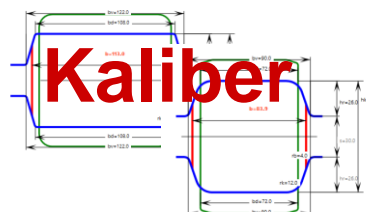
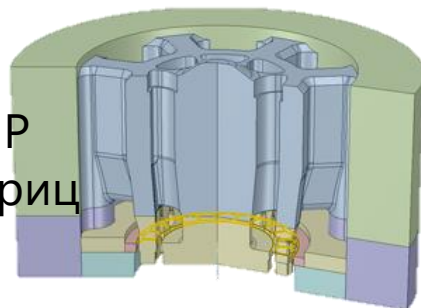
Сортовая
прокатка



Термообработка



САПР
Матриц



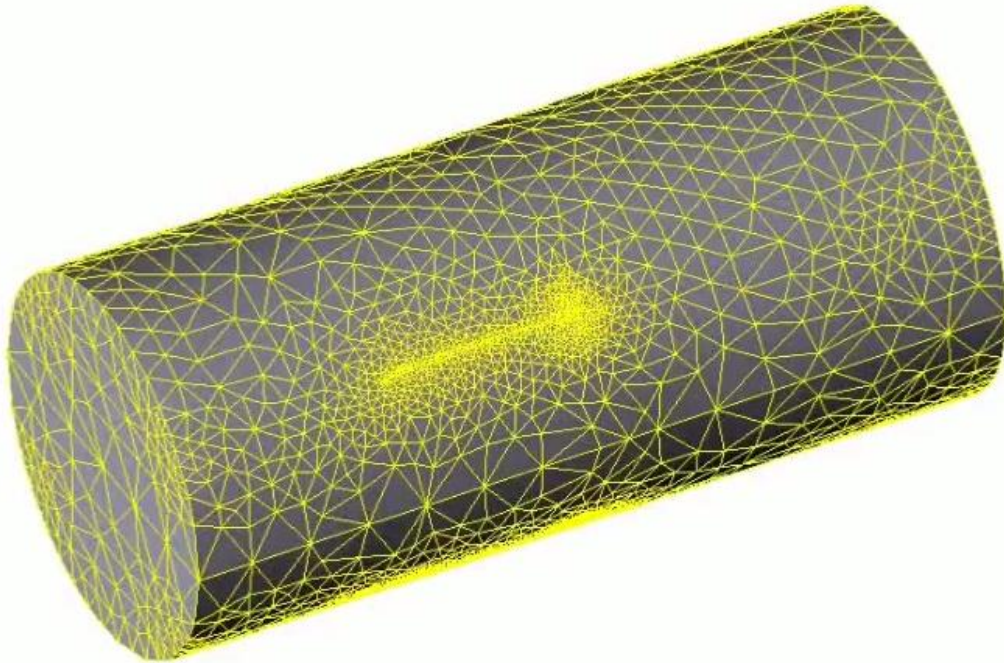
Kaliber

САПР
Калибровки

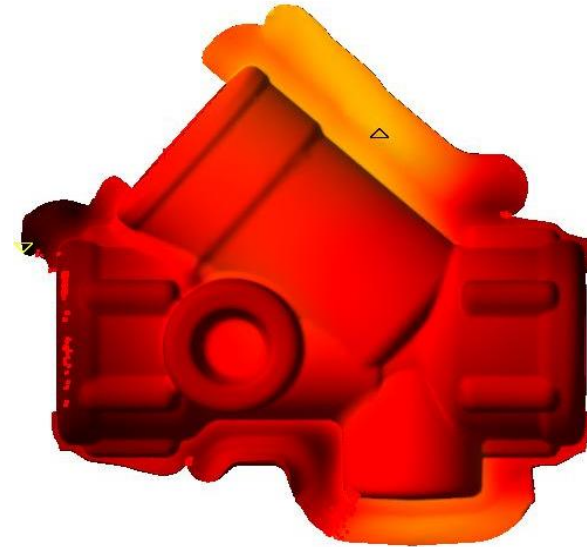


Сердце программы – адаптивный генератор сетки конечных элементов

Обеспечивает точность и скорость расчета



Программа предназначена для моделирования больших пластических деформаций металлических изделий



Содержание

- Введение
- Проблемы технологии: анализ течения металла, предсказание дефектов, анализ инструмента
- Листовая штамповка
- Анализ микроструктуры
- Прокатка
- Прессование
- Заключение





Предсказать



Решить



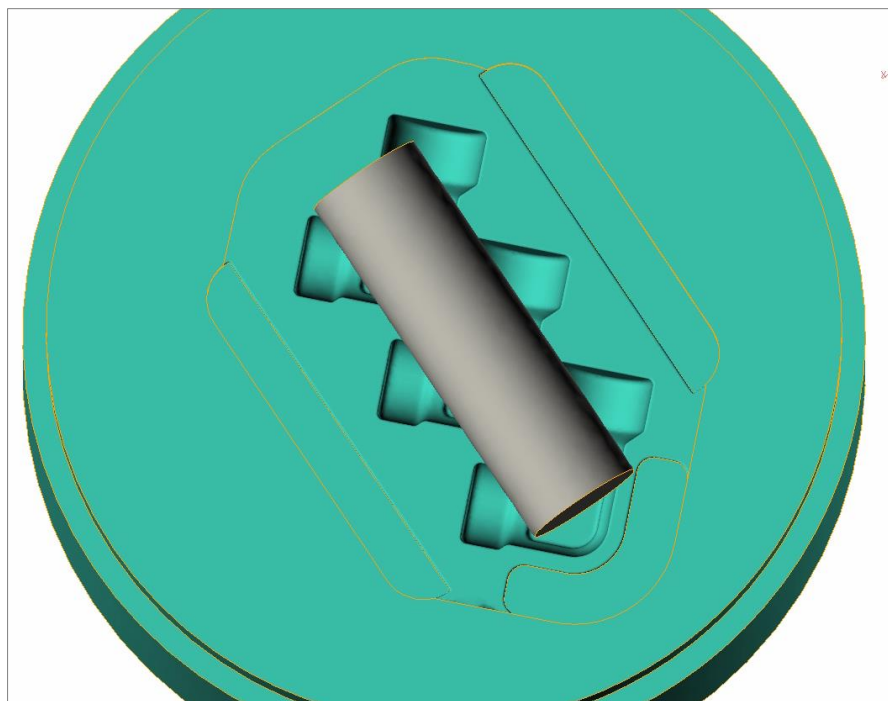
Оптимизировать

Испытание в QForm дает больше информации, чем реальный эксперимент.

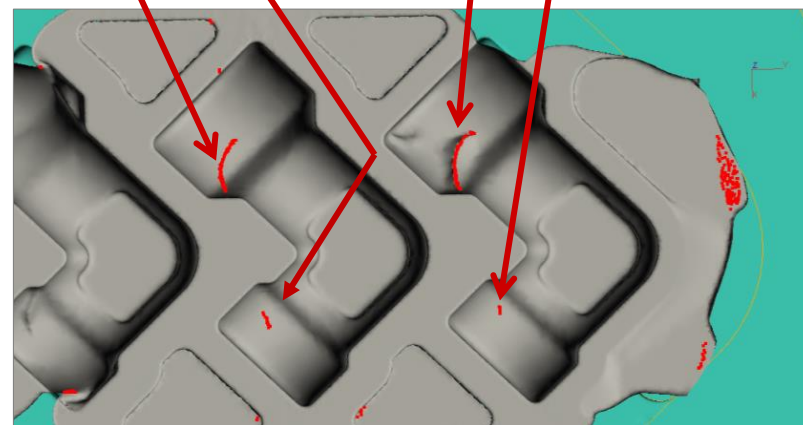
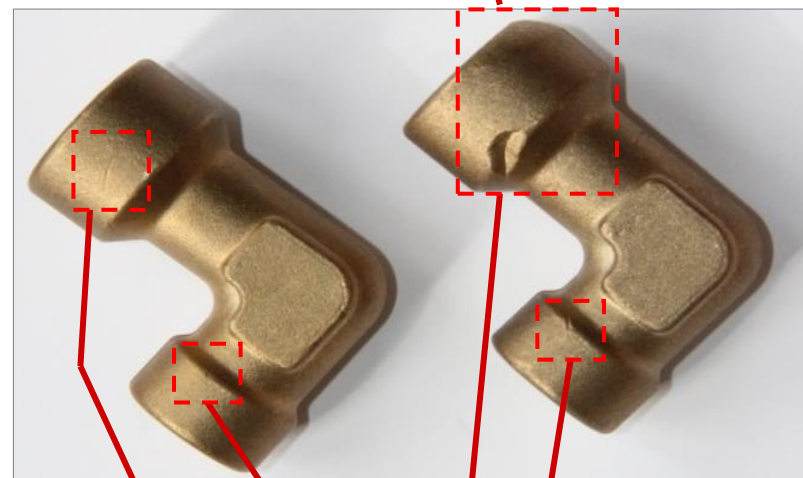
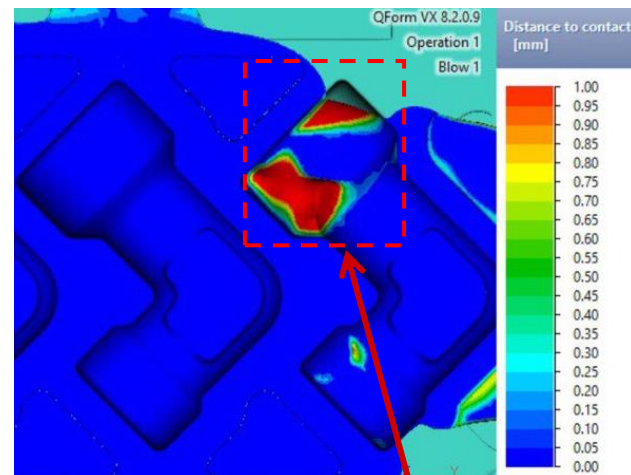
Например, состояние металла внутри тела заготовки и инструмента, когда и где зарождается дефект, анимацию течения металла, зоны контакта ...



Дефект «складка»



Складки = самоконтакт поверхности на поковке
показан облаком красных точек



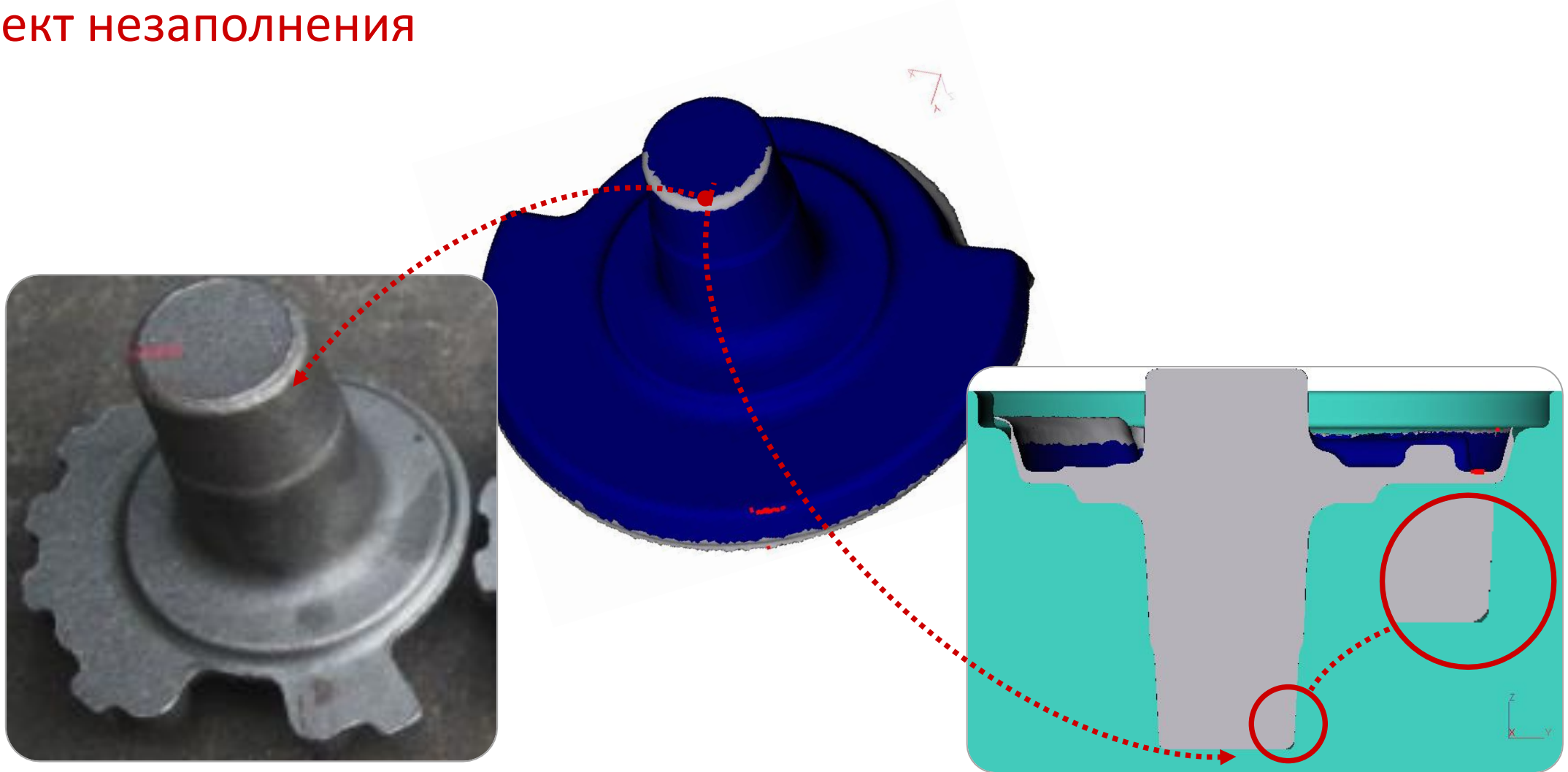
Дефект незаполнения штампа

Кроме возможных ошибок используемые методики проектирования штампов НЕ гарантируют их качество, так как процесс течения металла зависит от массы факторов, которые не учесть аналитическим расчетом.

В первую очередь необходимо контролировать заполнение гравюры штампа



Дефект незаполнения

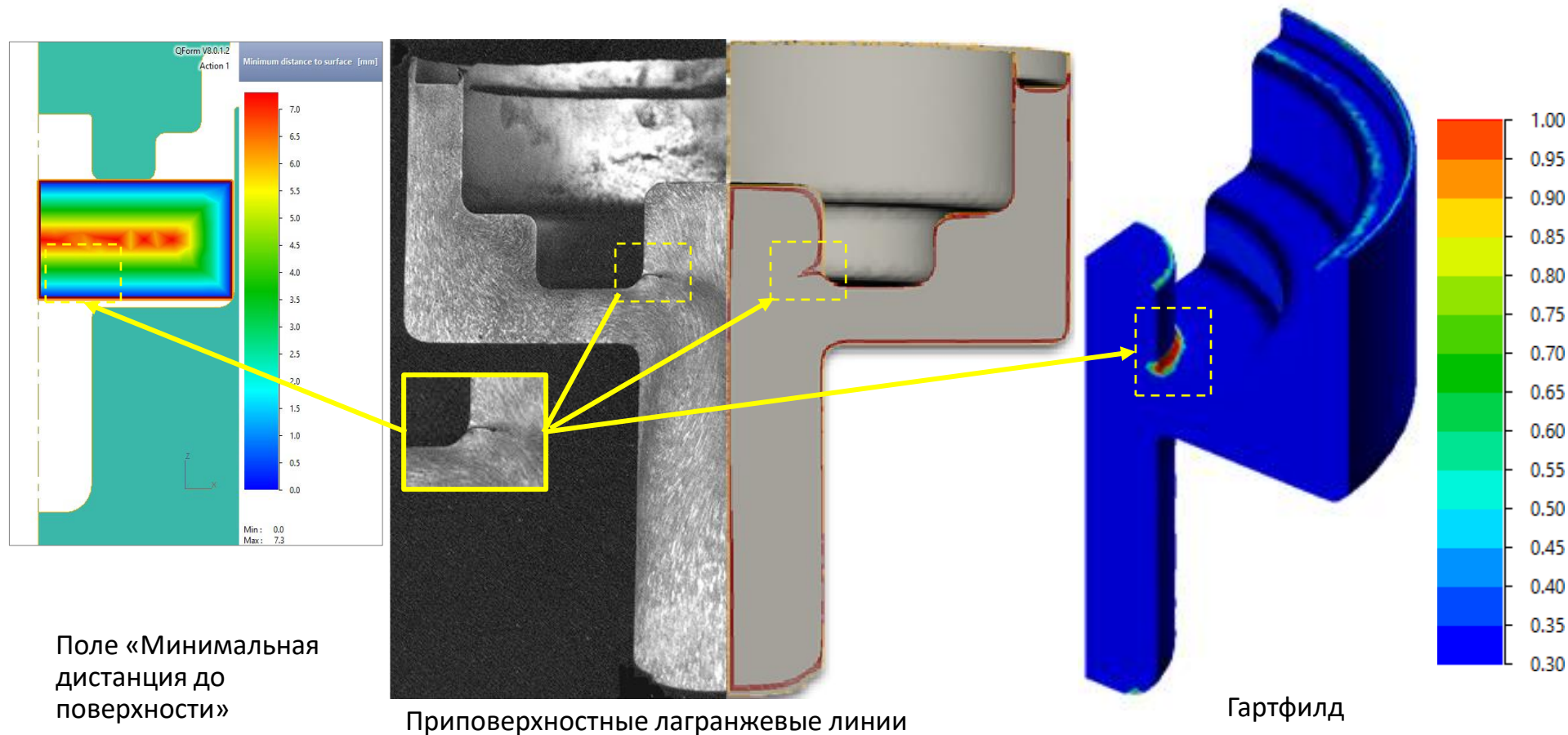


QForm показывает зоны контакта между инструментом и заготовкой, а также может показать минимальное расстояние до поверхности инструмента для бесконтактных зон, чтобы увидеть величину незаполнения ➡

Прострелы, утяжины



Анализ наличия прострела – «Гартфилд»



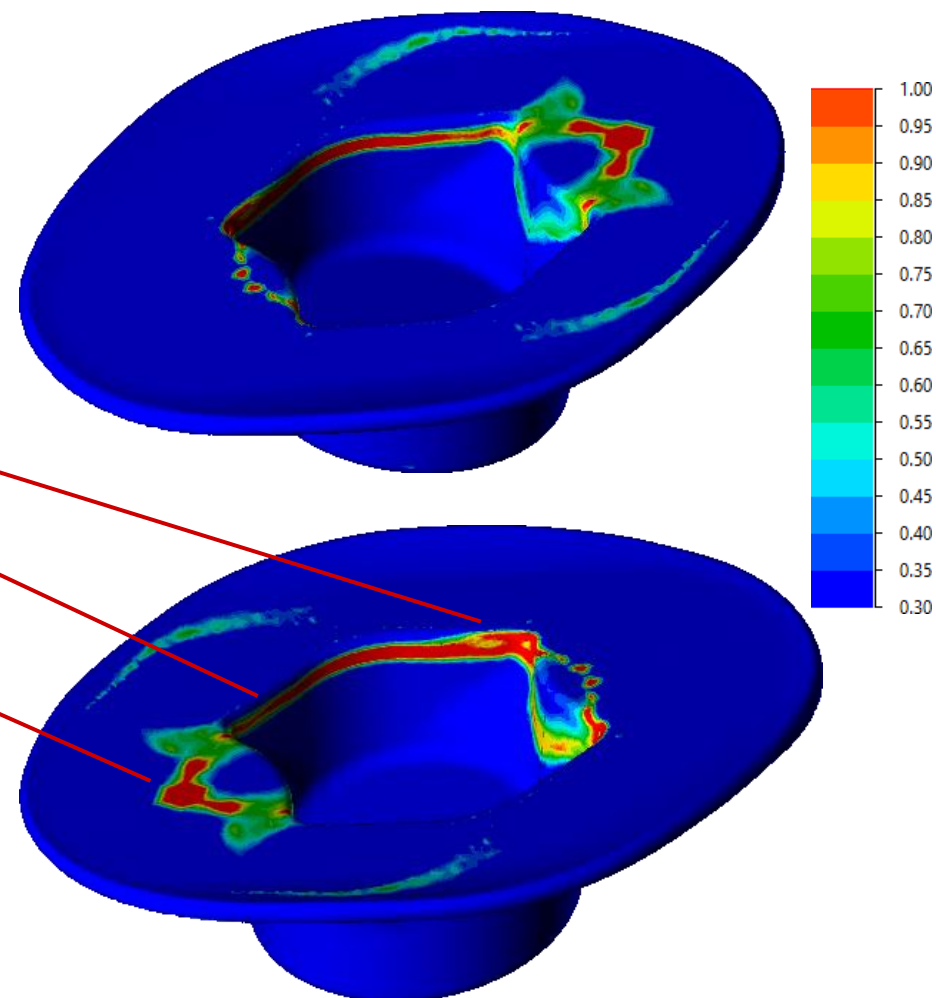
Дефект «прострел», «утяжина»: на поковке дефект похож на складку, но появляется не в результате самоконтакта («складывания» поверхности), а из-за большой разницы скорости течения металла. Например, когда часть гравюры заполнена (верхняя бобышка), а в нижнюю бобышку металл интенсивно течет.



Результаты моделирования и сравнение с экспериментом

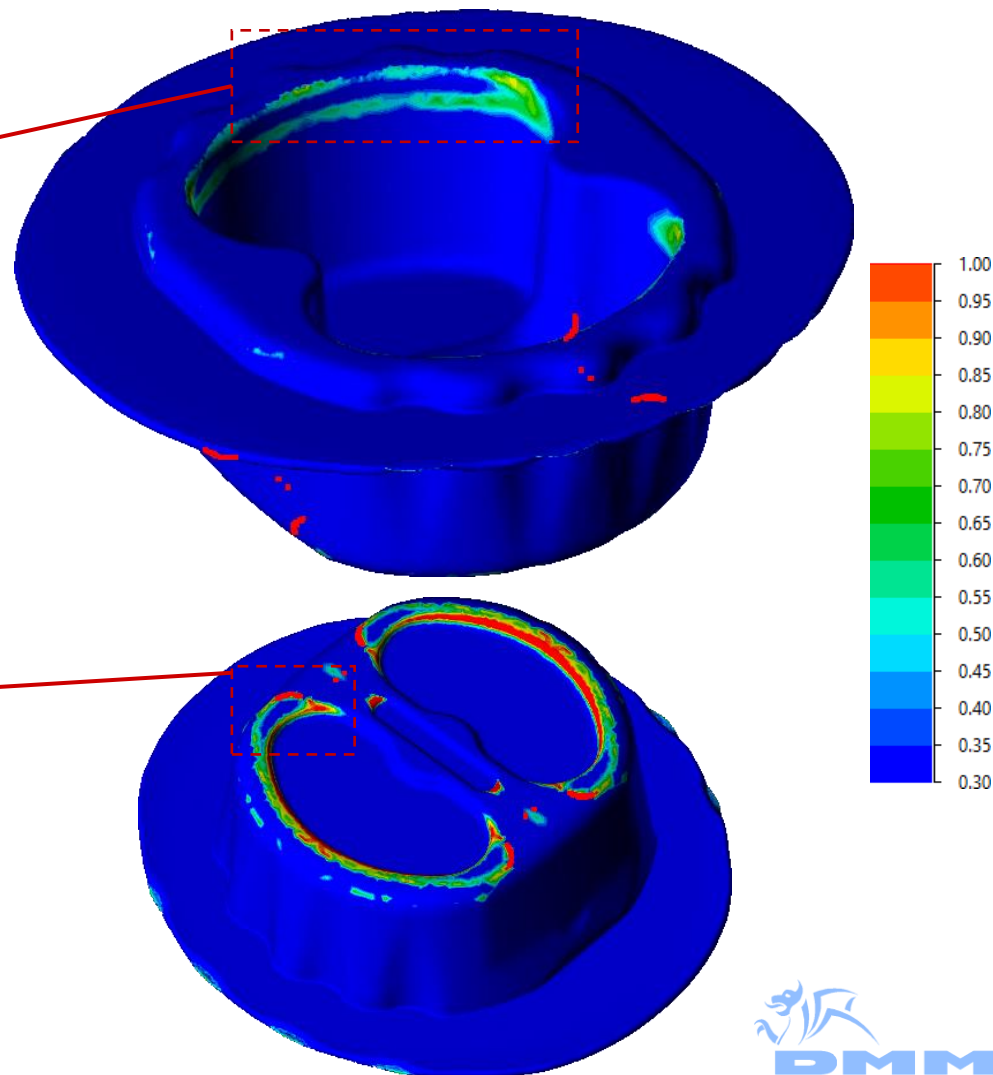


«Гартфилд»:



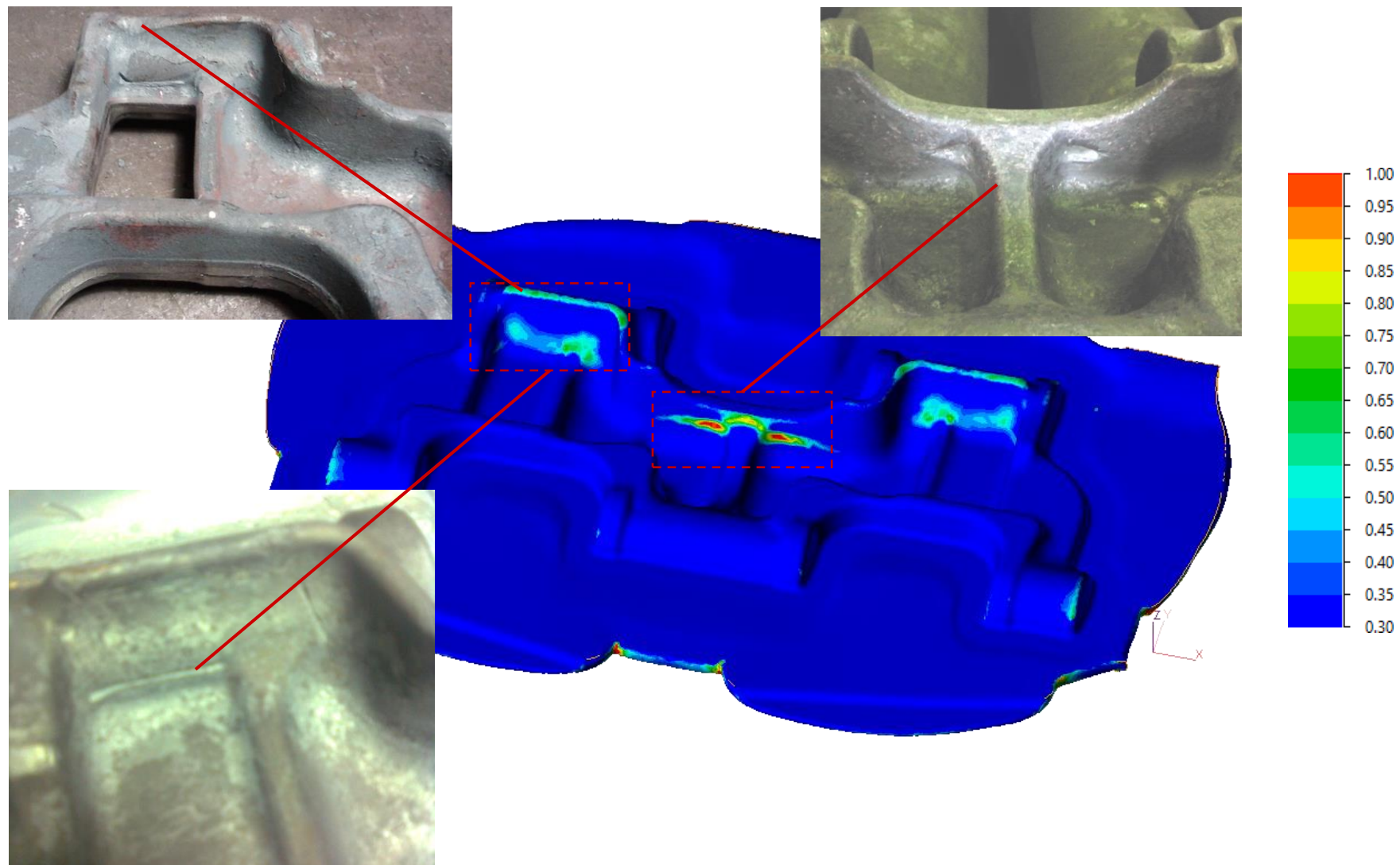
Результаты моделирования и сравнение с экспериментом

«Гартфилд»:



Результаты моделирования и сравнение с экспериментом

«Гартфилд»:

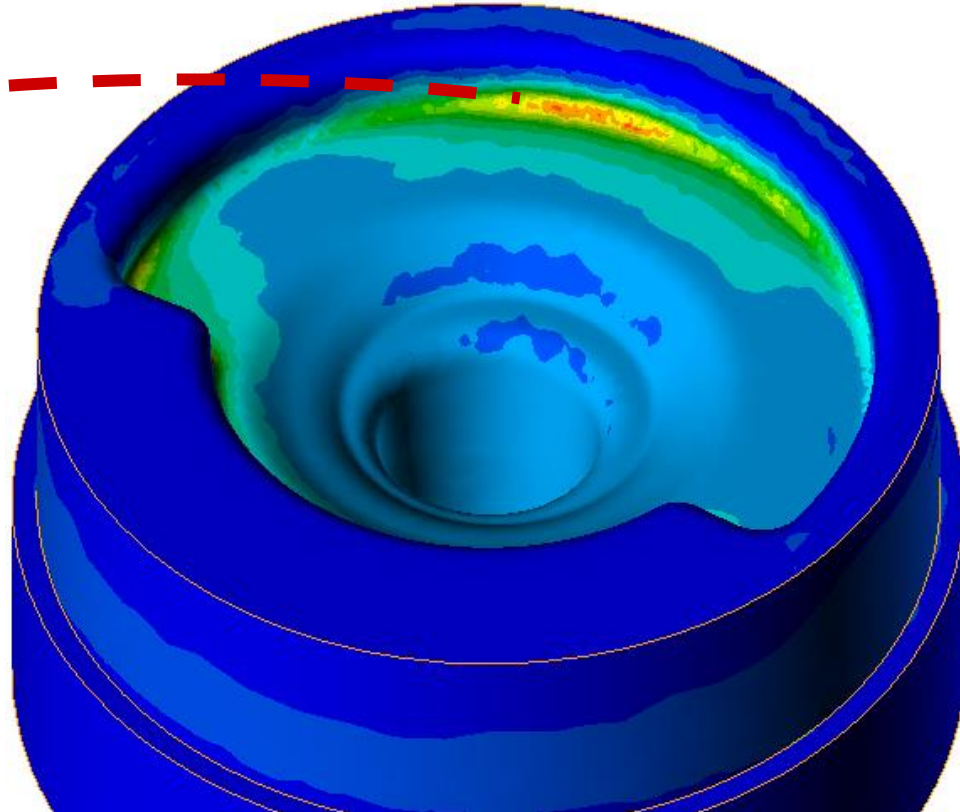


Анализ инструмента



Основные причины разрушения инструмента при штамповке

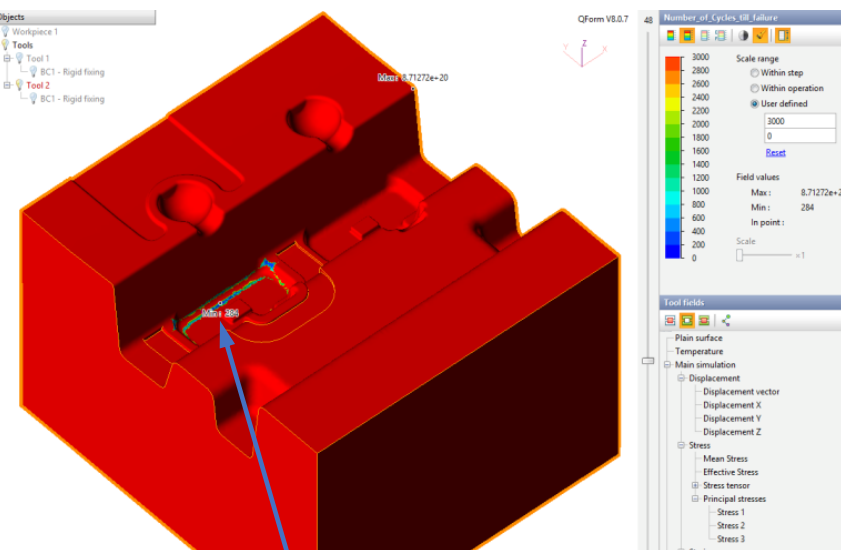
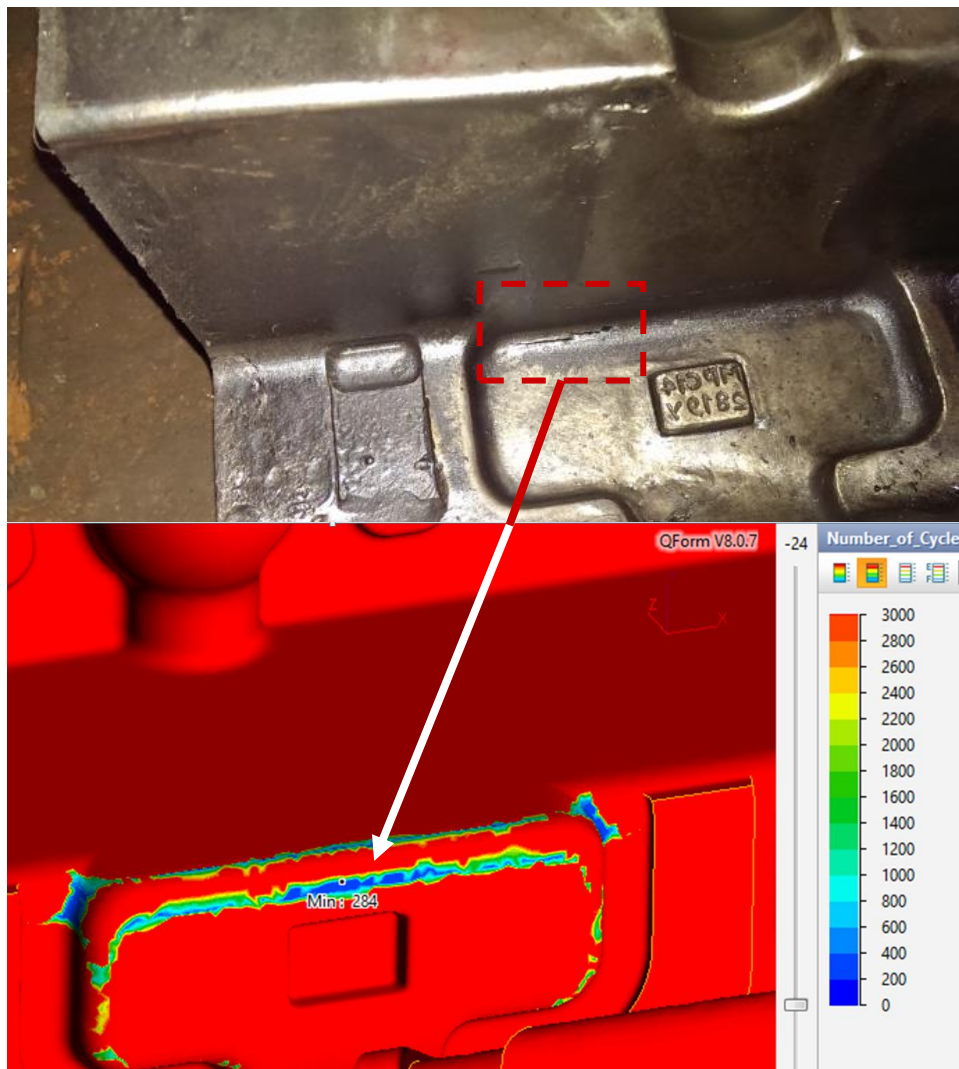
- Разрушение в следствии перегрузки
- Термомеханическое усталостное разрушение (малоцикловая усталость)
- Износ гравюры



Расчет малоциклового усталости в подпрограмме «Усталость»

На производстве: разрушение инструмента после ~200 штамповок

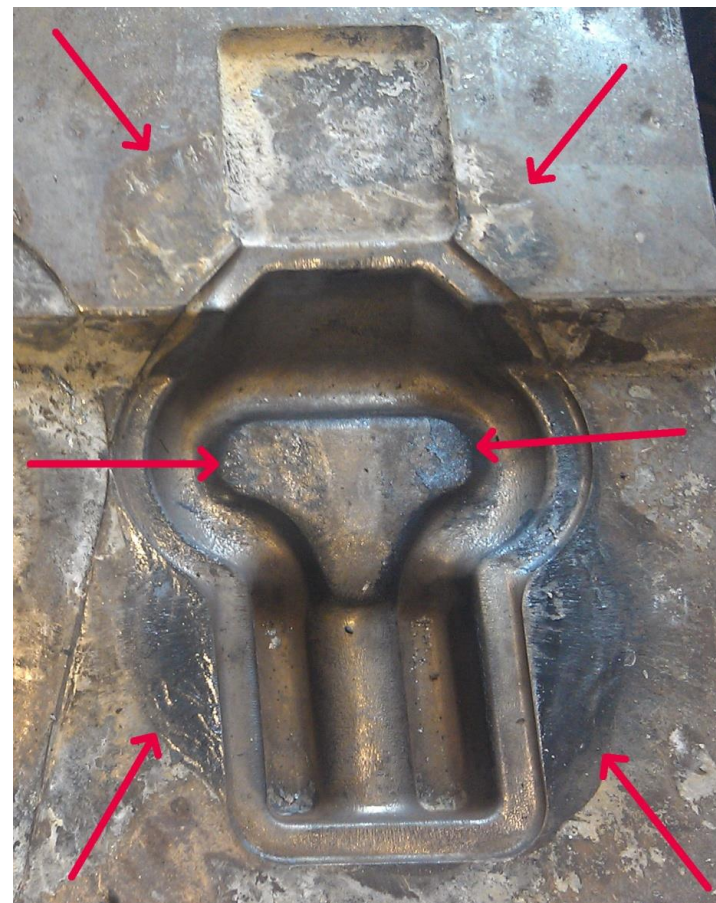
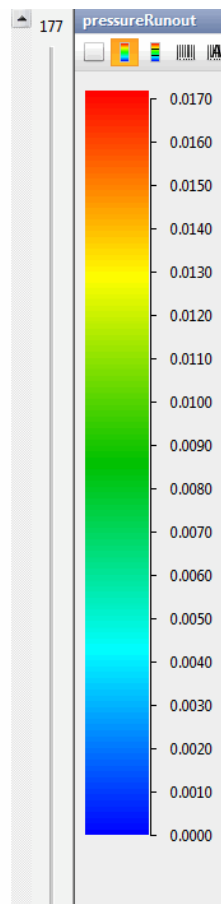
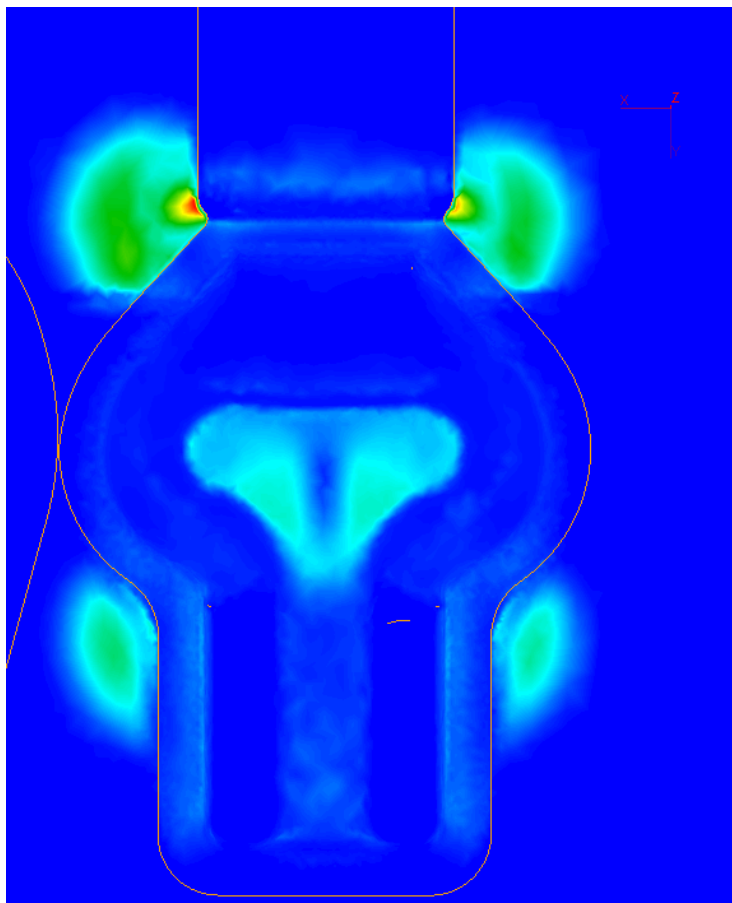
Поле «Число циклов до разрушения» :



Min=284



Анализ износа инструмента

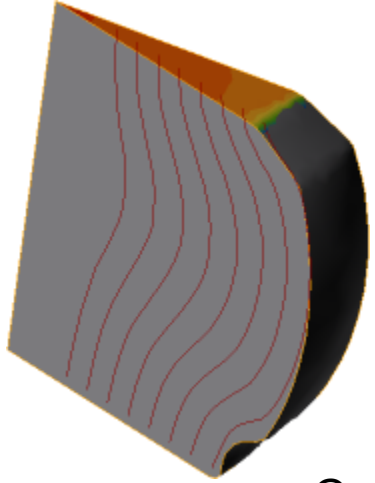


Волокнистое строение

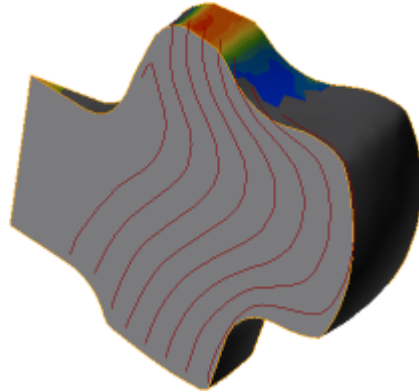


Стандартная подпрограмма "Выход волокон на поверхность"

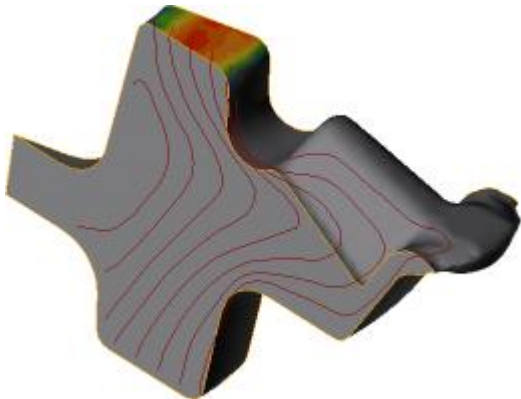
Осаженная заготовка



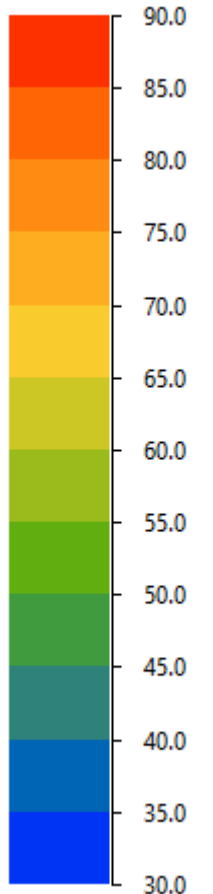
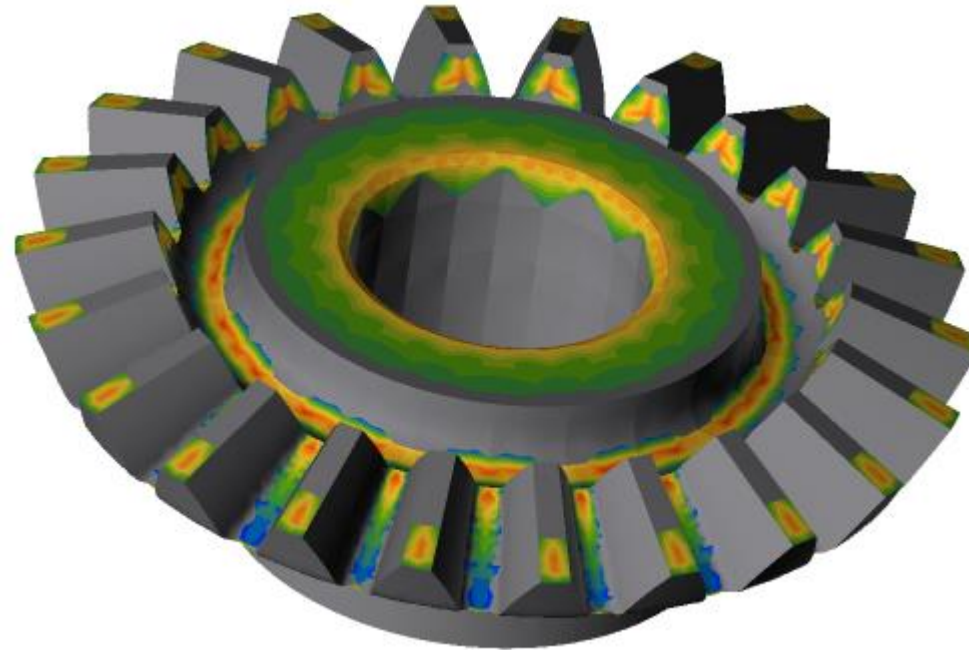
Предварительный переход



Окончательная
штамповка



Деталь после
механической
обработки



Штамповка зубчатого колеса. Показаны зоны с углом выхода волокон на поверхность 30°-90°

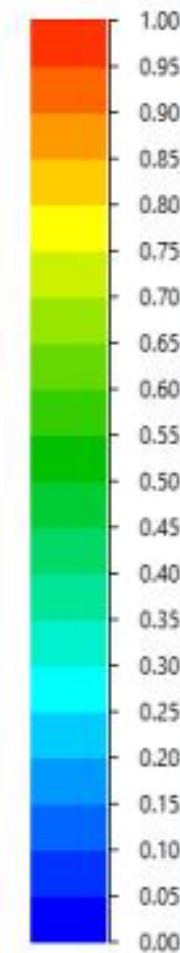
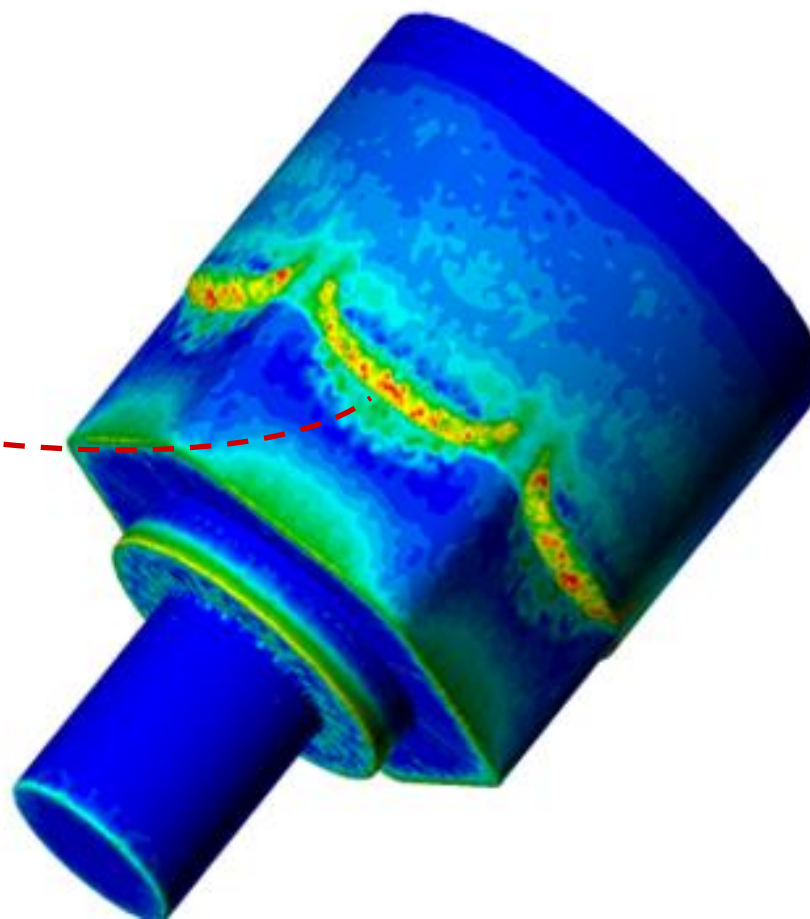


Разрушение, трещины из-за истощения ресурса пластичности



Трещины

Модифицированный критерий разрушения Кокрофта-Латама



Набор критериев разрушения позволяет предсказывать зоны образования трещин



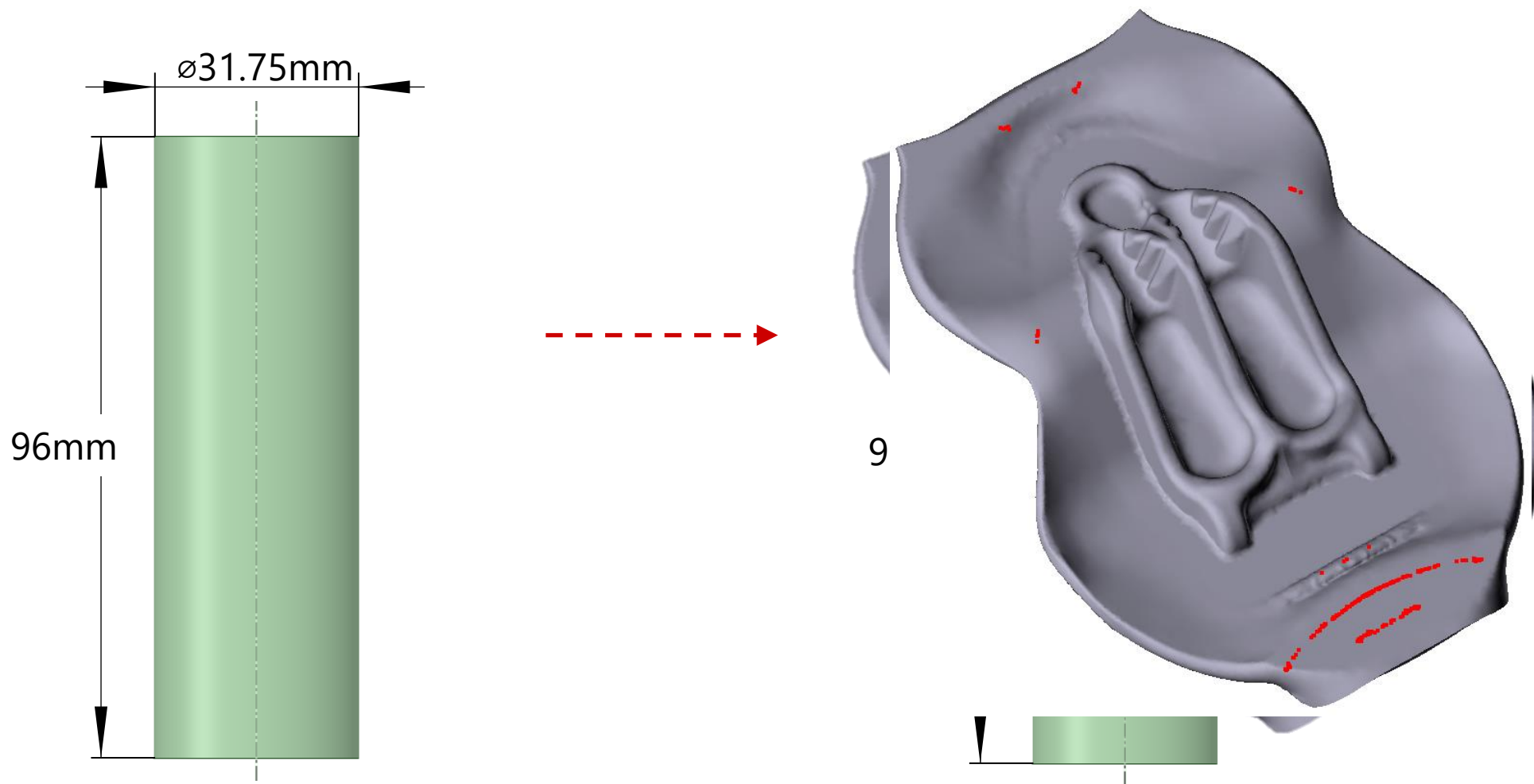
Экономия металла



И, наконец, даже когда мы получили довольно хорошую технологию, почему бы не оптимизировать ее? Например, по расходу материала



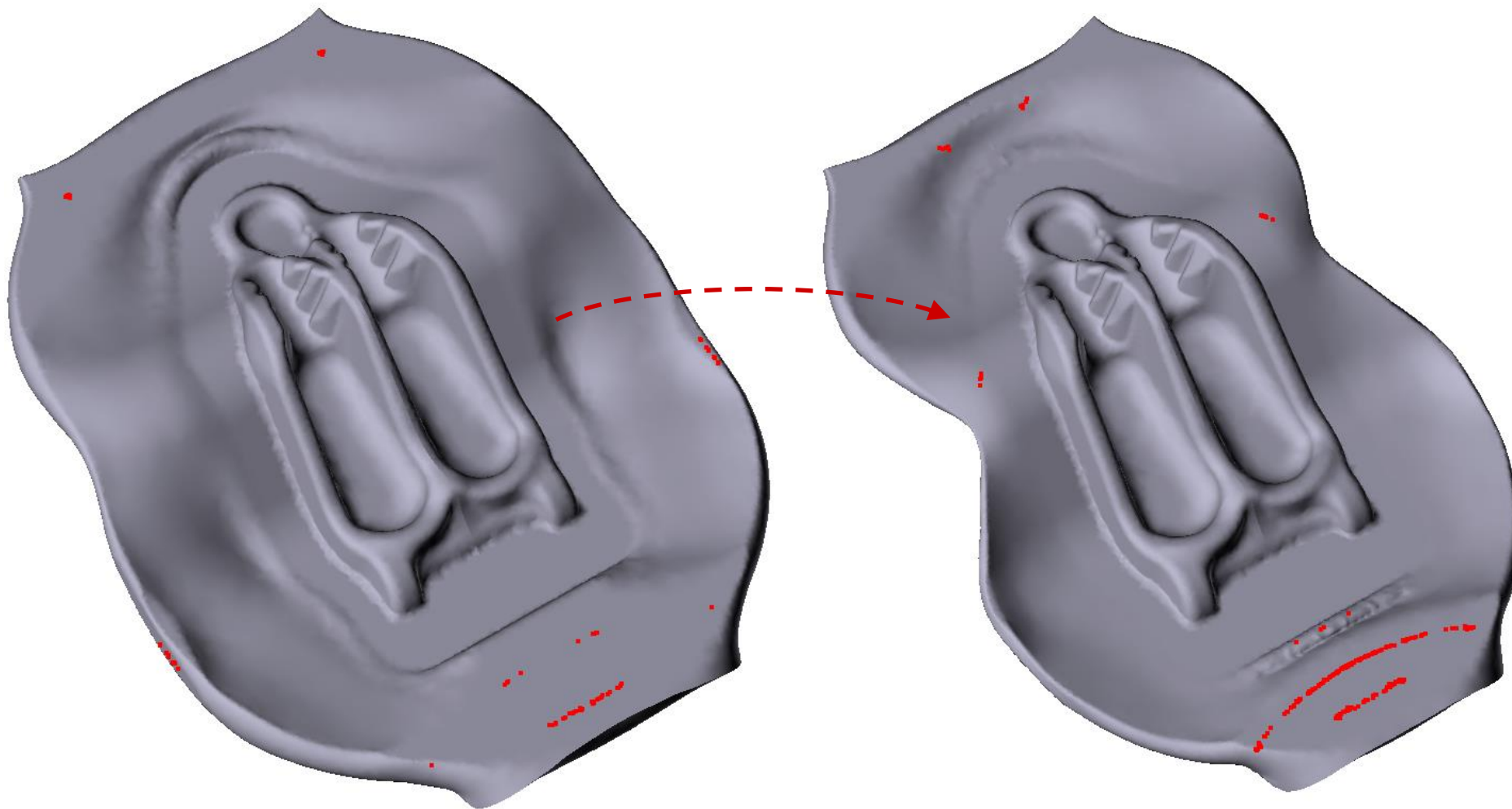
Оптимизация с целью экономии металла



В первоначальной технологии использовалась заготовка 31,75 x 96 мм.
После оптимизации рассчитана заготовка 28,5 x 93 мм.



Экономия металла - 20% на каждом изделии.



Объем заготовки снижен на 20%, при этом полностью заполняется гравюра штампа и поковка не имеет дефектов. Результат - высокое снижение себестоимости изделий при серийном производстве.



Содержание

- Введение
- Проблемы технологии: анализ течения металла, предсказание дефектов, анализ инструмента
- **Листовая штамповка**
- Анализ микроструктуры
- Прокатка
- Прессование
- Заключение



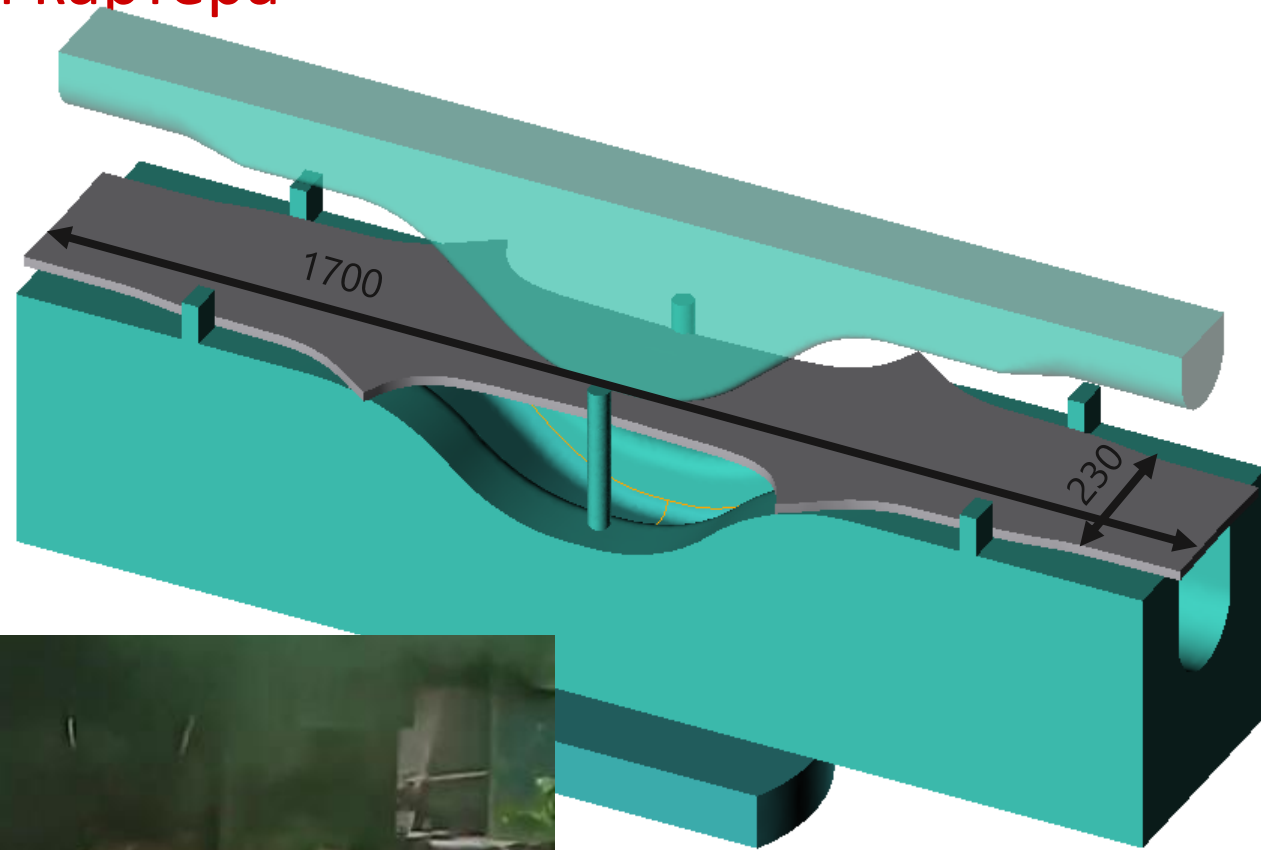
Листовая штамповка балки картера

Габариты заготовки:

Длина = 1700 mm

Ширина = 230 mm

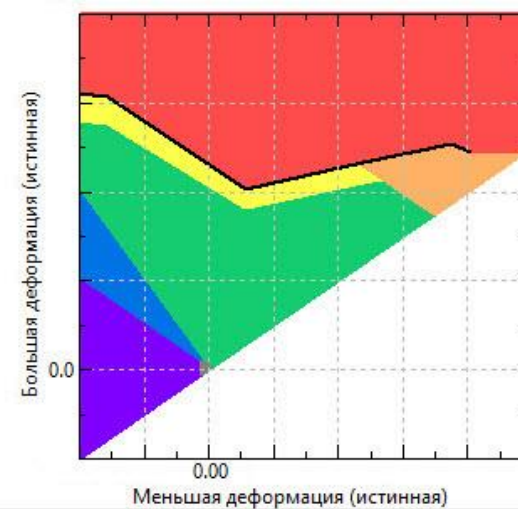
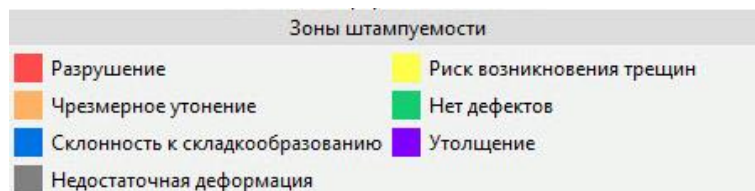
Толщина = 15 mm



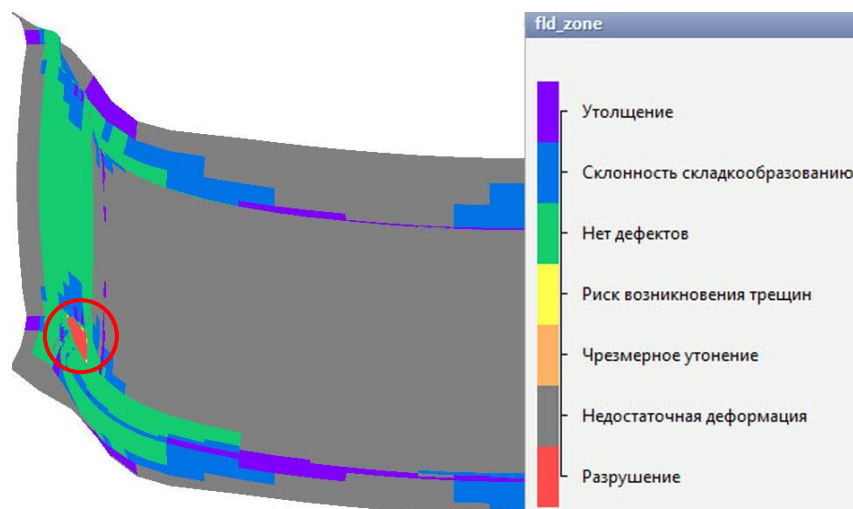
Стандартные подпрограммы для листовой штамповки

Пример моделирования гибки

Диаграмма предельного
формоизменения (FLD)



Результаты моделирования



Экспериментальные результаты



Содержание

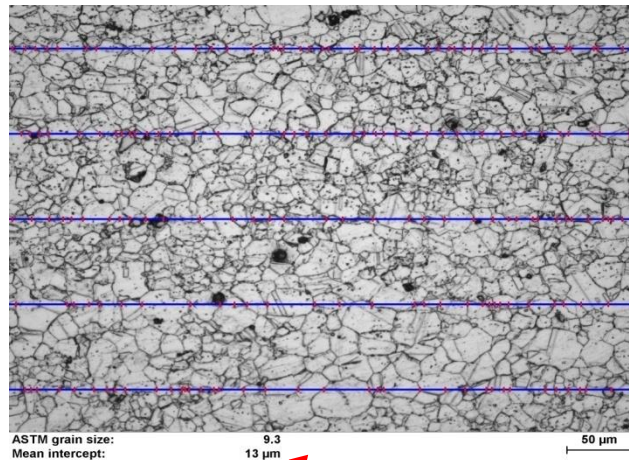
- Введение
- Проблемы технологии: анализ течения металла, предсказание дефектов, анализ инструмента
- Листовая штамповка
- Анализ микроструктуры
- Прокатка
- Прессование
- Заключение



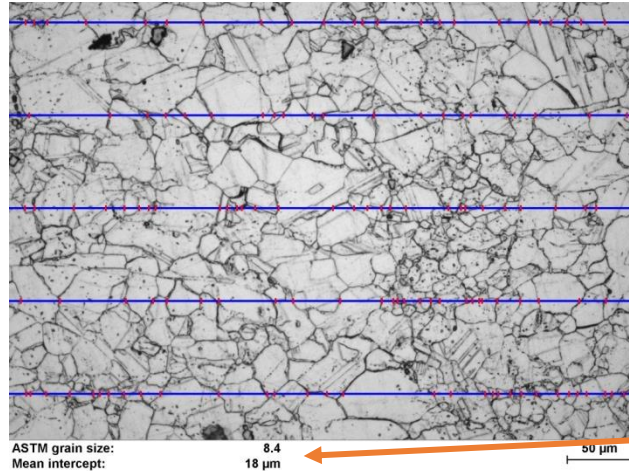
Моделирование микроструктуры Инконель 718

Контрольные точки M1 and M2: моделирование и эксперимент

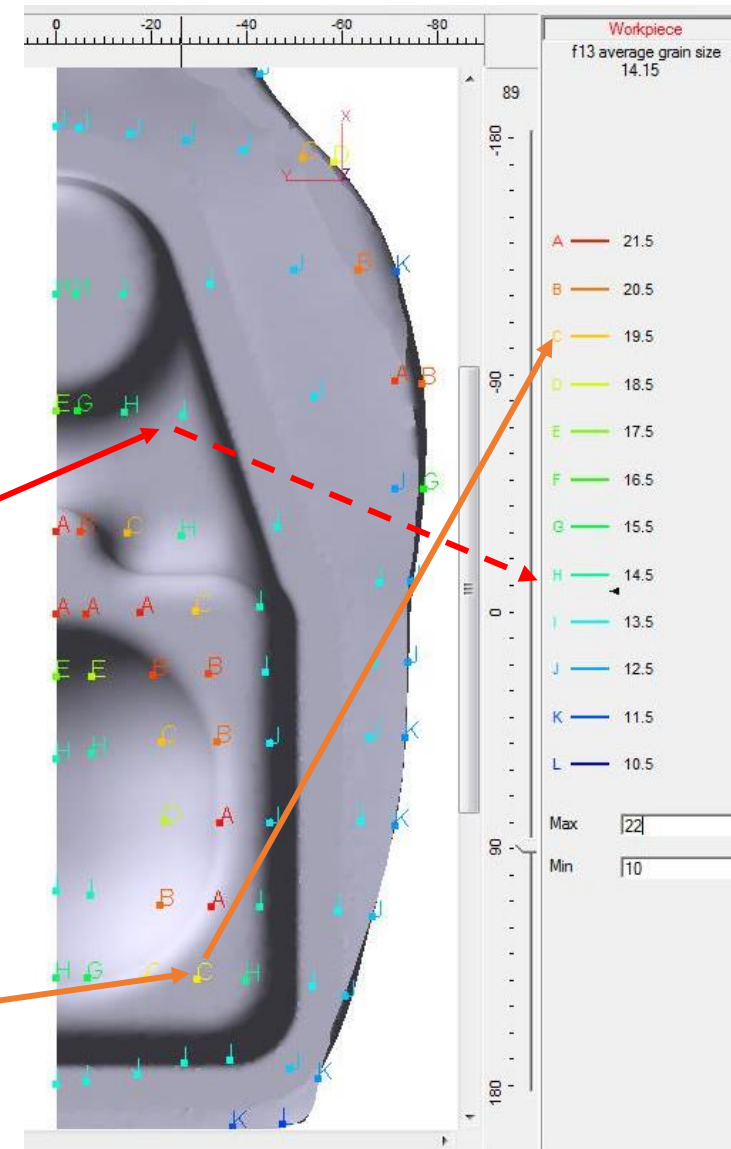
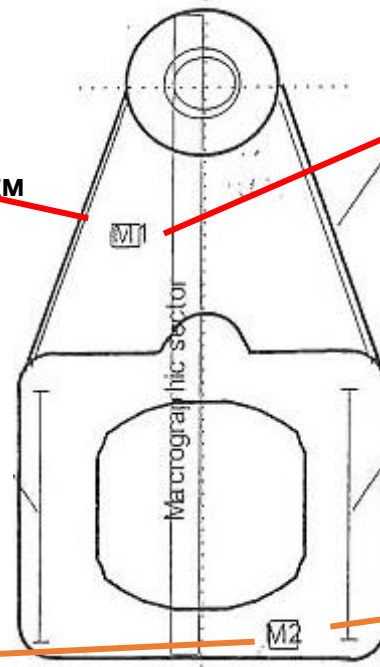
Микрофото точка M1: размер зерен 13 мкм



Микрофото точка M2: размер зерен 18 мкм



Поковка без облоя



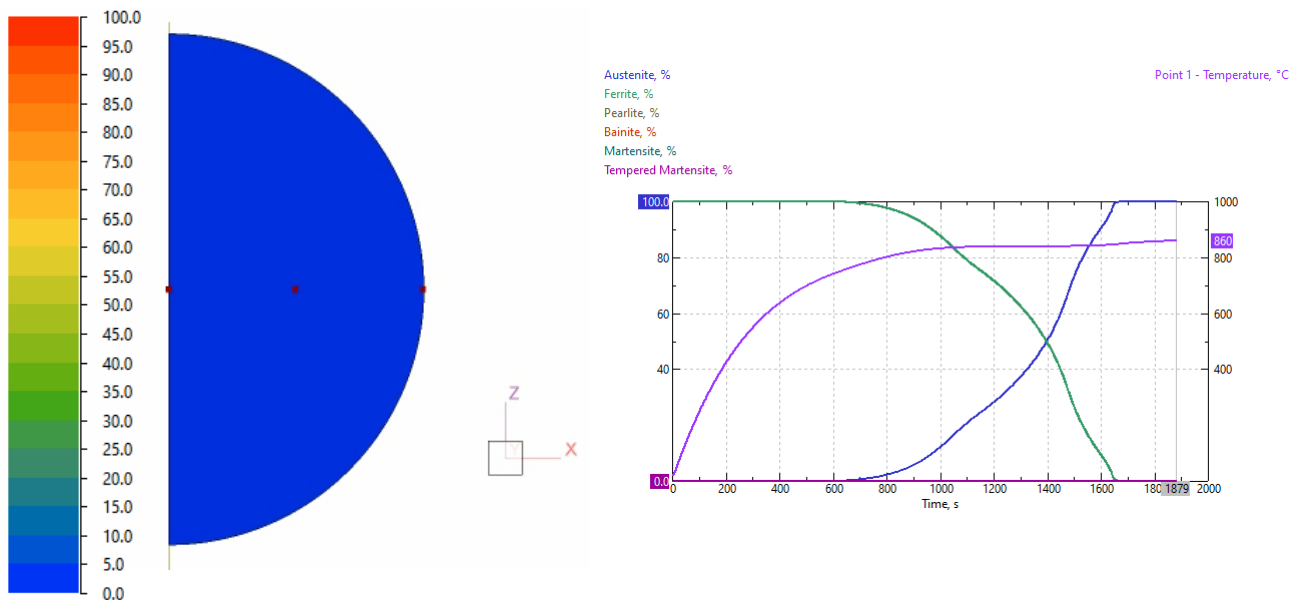
Модуль термообработки QForm

Al Aluminium Алюминий 13 26.982	Ti Titanium Титан 22 47.90
Fe Ferrum Железо 26 55.847	Ni Niccolum Никель 28 58.69

Основные моделируемые процессы:

- **Закалка**
- **Отпуск**
- **Старение и т. д.**

Учитывается **тепловыделение** и **изменение объёма** при фазовых превращениях.



Аустенит

Расчет:

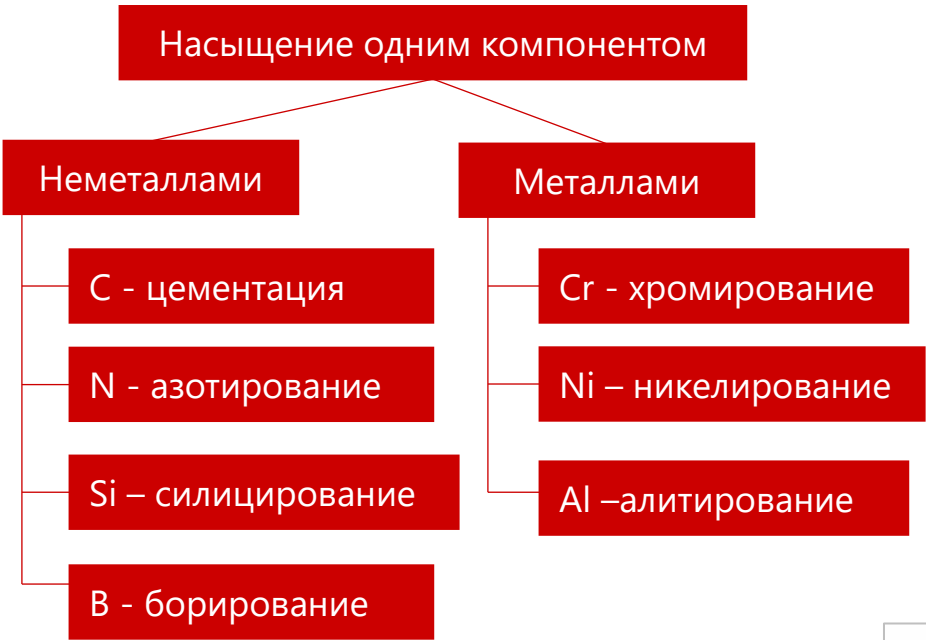
- **фазовый состав,**
- **остаточные напряжения,**
- **деформаций.**

Прогнозирование эксплуатационных свойств:

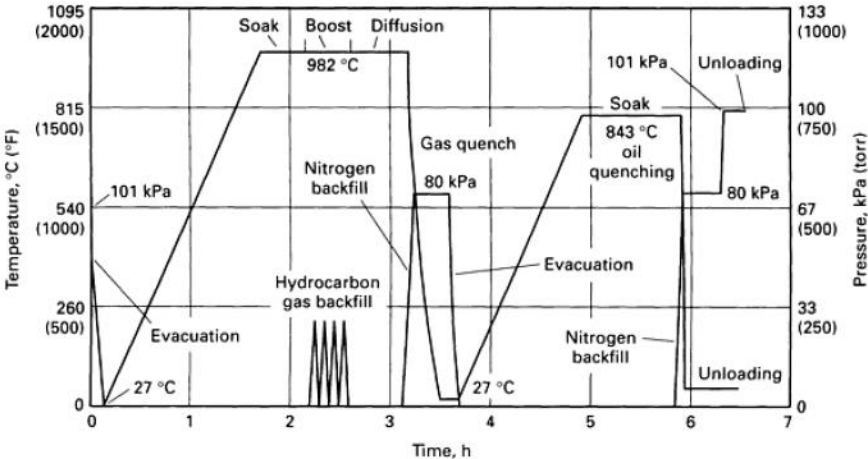
- **Твёрдость**
- **Предел прочности**



Моделирование диффузионных процессов



Типовой процесс вакуумной цементации
(ASM Handbook, Vol. 4 Heat Treating)



Результаты моделирования цементации -
концентрация [%] углерода (рассмотрен
фрагмент заготовки высотой 1 мм):



Может быть промоделировано диффузионное насыщение одним компонентом



Содержание

- Введение
- Проблемы технологии: анализ течения металла, предсказание дефектов, анализ инструмента
- Листовая штамповка
- Анализ микроструктуры
- Прокатка
- Прессование
- Заключение

Новые модули и возможности моделирования прокатки

Операция

Название процесса
Процесс [1]

Название операции
[]

Тип операции

- ☒ Деформация
- ☐ Охлаждение/Нагрев
- ☐ Циклический нагрев инструмента
- ☐ Раскатка колец
- ☐ Раскатка колёс
- ☐ Продольная прокатка
- ☐ Винтовая прокатка
- ☐ Реверсивная прокатка
- ☐ Прессование профилей
- ☐ Охлаждение профилей
- ☐ Электровысадка
- ☐ Толстолистовая штамповка

Проект

Операция

Геометрия

Параметры заготовки

Параметры инструмента

Условия остановки

3D-моделирование:

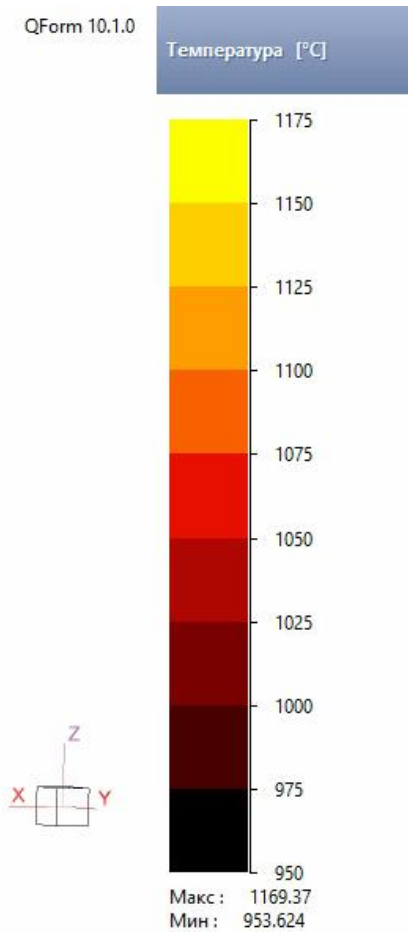
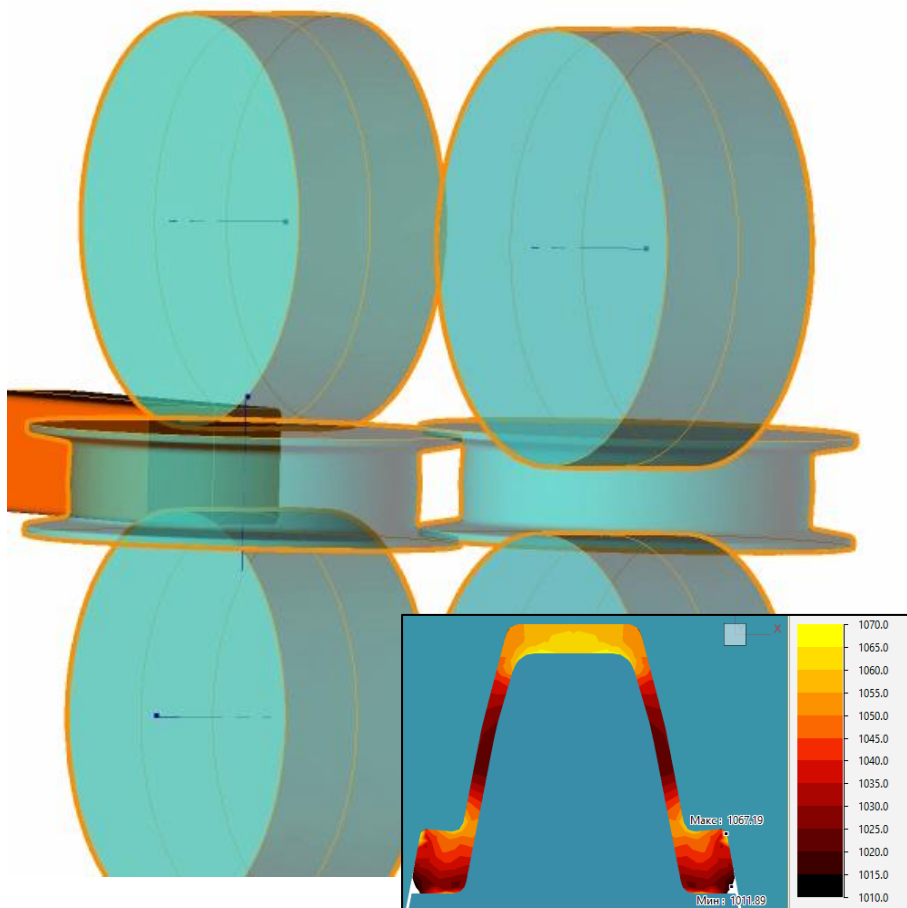
- Top: 3D model of a multi-roll stand with blue and green rollers.
- Middle: 3D model of a single roller with a blue and green surface.
- Bottom: 3D model of a multi-roll stand with blue and green rollers.

Таблица параметров:

Операция	Количество прокатки [12]	Пл. на вале [1]	Пл. на валу [2]	Пл. на валу [3]	Пл. на валу [4]	Пл. на валу [5]	Пл. на валу [6]	Пл. на валу [7]	Пл. на валу [8]	Пл. на валу [9]	Пл. на валу [10]	Пл. на валу [11]	Пл. на валу [12]
1	6	0	0	0	0	210	17	18	0	0	0	0	0
2	5	0	0	0	0	25	17	16	0	0	0	0	
3	5	0	0	0	0	25	18	18	0	0	0	0	
4	7	0	0	0	0	10	22	22	0	0	0	0	
5	7	0	0	0	0	10	22	22	0	0	0	0	
6	7	0	0	0	0	10	22	22	0	0	0	0	
7	7	0	0	0	0	10	22	22	0	0	0	0	
8	7	0	0	0	0	10	22	22	0	0	0	0	
9	7	0	0	0	0	10	22	22	0	0	0	0	
10	7	0	0	0	0	10	22	22	0	0	0	0	
11	7	0	0	0	0	10	22	22	0	0	0	0	
12	7	0	0	0	0	10	22	22	0	0	0	0	



Результаты промышленных испытаний QForm на ЕВРАЗ ЗСМК



Усредненная сходимость по температуре
99.2%, загрузке приводов 91.3%,
геометрии 98.7%

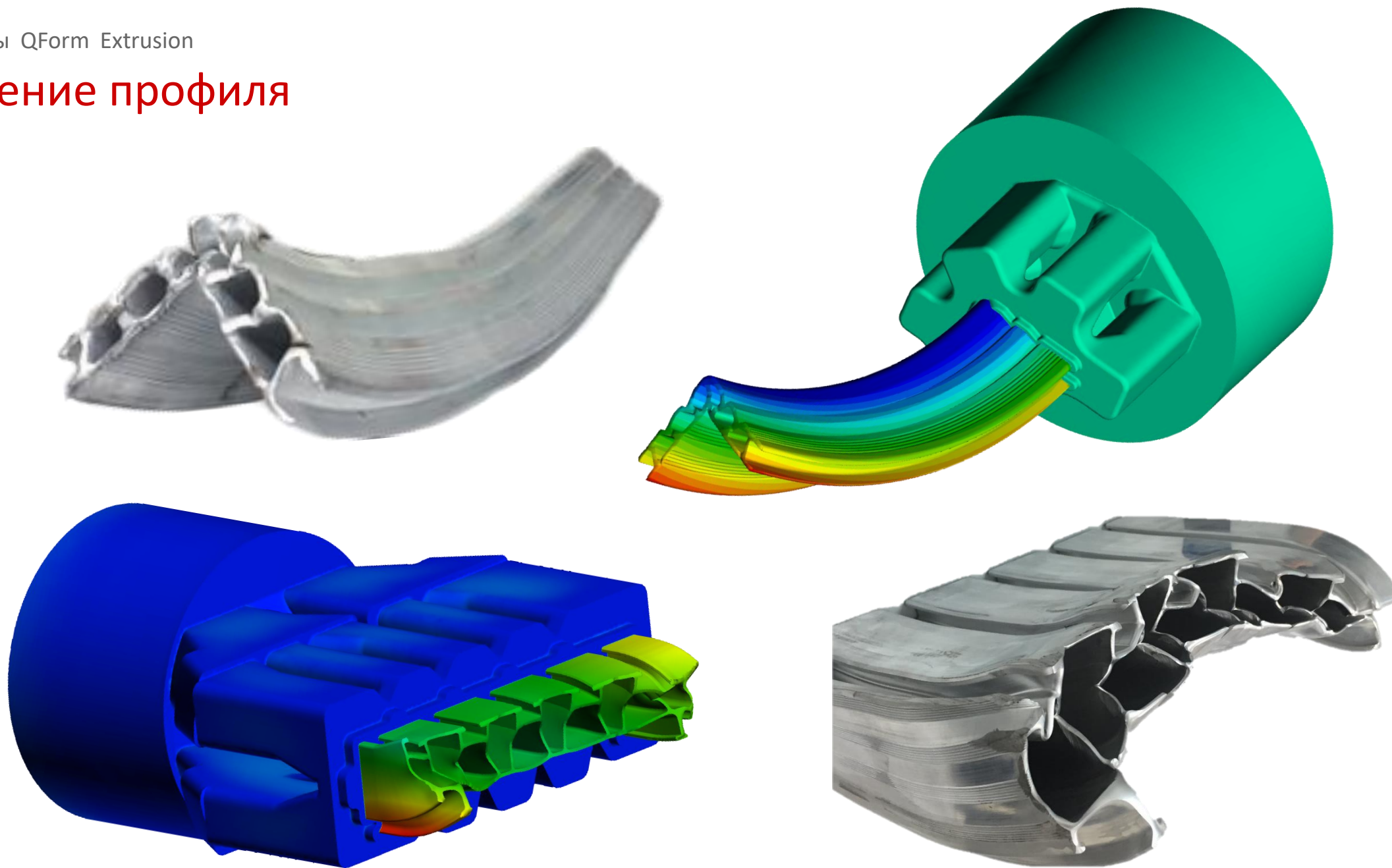
**Итоговая сходимость
96.41%**



Содержание

- Введение
- Проблемы технологии: анализ течения металла, предсказание дефектов, анализ инструмента
- Листовая штамповка
- Анализ микроструктуры
- Прокатка
- Прессование
- Заключение

Течение профиля



Содержание

- Введение
- Проблемы технологии: анализ течения металла, предсказание дефектов, анализ инструмента
- Листовая штамповка
- Анализ микроструктуры
- Прокатка
- Заключение



Пользователи QForm по всему миру



Пользователи - в 51 стране



Некоторые пользователи QForm в России



Более 100 пользователей в России



Новая версия QForm 11: новый уровень моделирования!

QForm – известный в мире Российский программный продукт, используется более чем в 50 странах:

- Интерфейс программы на 13 языках
- Подробная документация с примерами применения
- Быстрая техническая поддержка
- Обучение и курсы повышения квалификации

Сайт: www.qform3d.ru

Динамичная разработка
программы: более 200 значимых
изменений в версии 11



Спасибо за внимание!

