

Курс: «Математическое моделирование пластических деформаций».

Введение. Применение **QForm** для моделирования и исследования процессов штамповки и прокатки

Гладков Юрий Анатольевич,
к.т.н., доцент каф. МТ-6 МГТУ им. Н.Э.Баумана

План презентации:

1. Модель и моделирование
2. Цели моделирования. Последовательность моделирования
3. Трение и износ
4. Примеры снижения расходов производства при моделировании ГОШ на примере QForm
5. Примеры применения для разных технологий ОМД

Модель (фр. *modèle*, от лат. *modulus* — «мера, аналог, образец») — это система, исследование которой служит средством для получения информации о другой системе; представление некоторого реального процесса, устройства или концепции.

Модель - это упрощенное представление реальности в какой-либо форме (например, в математической, физической, символической, графической), предназначенное для изучения и представления определённых аспектов этой реальности.

Целью моделирования являются получение, обработка, представление и использование информации об объектах, которые взаимодействуют между собой и внешней средой; а модель здесь выступает как средство познания свойств и закономерности поведения объекта

Задачи моделирования :

- построение модели;
- исследование модели;
- применение модели

Применение моделей и моделирования:

- обучение (как моделям, моделированию, так и самих моделей);
- познание и разработка теории исследуемых систем;
- прогнозирование (выходных данных, ситуаций, состояний системы);
- управление (системой в целом, отдельными подсистемами системы);
- автоматизация (системы или отдельных подсистем системы). .



Система автоматизированного проектирования — автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования, представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования. Также для обозначения подобных систем широко используется аббревиатура САПР или CAD (*Computer-Aided Design*)

Термин [САПР](#), может подразумевать под собой [CAD/CAM/CAE/PDM](#):

CAD (*Computer-Aided Design*) – автоматизированное проектирование и черчение 2D и 3D моделей (чертежей)

CAE (*Computer-Aided Engineering*) – система автоматизированных инженерных расчетов

CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) — автоматизированная система для подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ (числовое программное управление)

PDM-система (*Product Data Management*) — система управления данными об изделии

PLM-система (*Product Lifecycle Management*) — прикладное программное обеспечение для управления жизненным циклом продукции (от момента выявления потребностей общества в продукции до момента ее утилизации).

CALS-технологии (*Continuous Acquisition and Lifecycle Support*) — непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла изделий.

Программное обеспечение для моделирования и проектирования

САПР (CAD)	A9CAD , Active-HDL , ADEM , Altium Designer , ArchiCAD , AutoCAD , Autodesk Inventor , bCAD , Bocad-3D , BricsCAD , BtoCAD , CADintosh , Cadmech , CATIA , CorelCAD , DraftSight , E3.series , EPLAN Electric , GstarCAD , Inovate , IntelliCAD , Ironcad , Ironcad Draft , K3 , MEDUSA4 , Mineframe , nanoCAD , NX , OrCAD , P-CAD , Pro/ENGINEER , Proteus , Pspice , Revit , Rhinoceros 3D , SAMCEF , SEE Electrical Expert , Solid Edge , SolidWorks , Spectra , SprutCAM , T-FLEX CAD , Tecnomatix , TopoR , TurboCAD , VariCAD , ZwCAD , Компас
Моделирование ОМД	Объемная штамповка: QForm (Россия), Deform (США), Forge (Франция), Simufact (Германия) Листовая штамповка: ESI PamShtamp (Чехия), AutoForm , LS-DYNA (США) Оборудование: ПА9 (МГТУ им. Н.Э.Баумана), Mathlab Simulink (США-Мексика)

1991....1998.... 2019

QFORM V8



ООО «КванторФорм»
более 25 лет разрабатывает
программные продукты

для

Моделирования процессов
пластического
формоизменения
металлов и сплавов

QFORM 7

www.qform3d.com



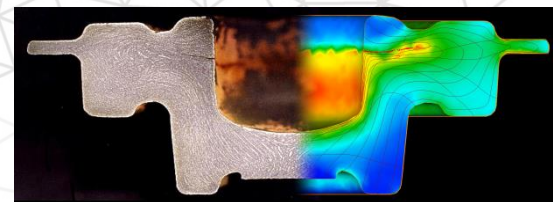
QFORM 3D
The most easy-to-use forging simulation software



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

FORM-2D

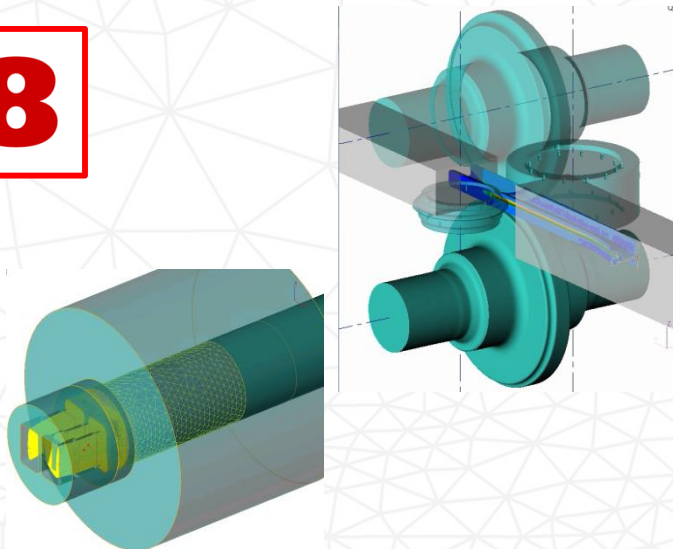
QForm – российский программный продукт



QFORM V8

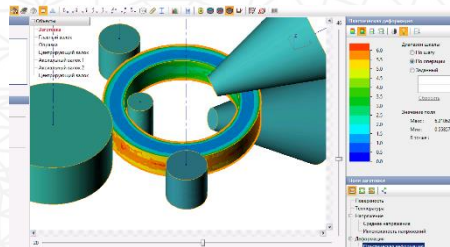
Моделирование
штаповки, прокатки,
КОВКИ

QFORM EX
Profile Extrusion



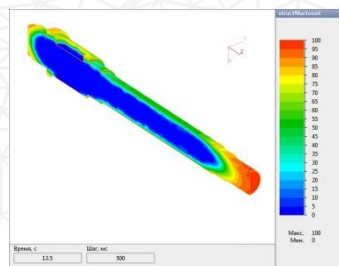
Моделирование
экструзии профилей

QFORM RR
Ring Rolling



Моделирование
раскатки колец

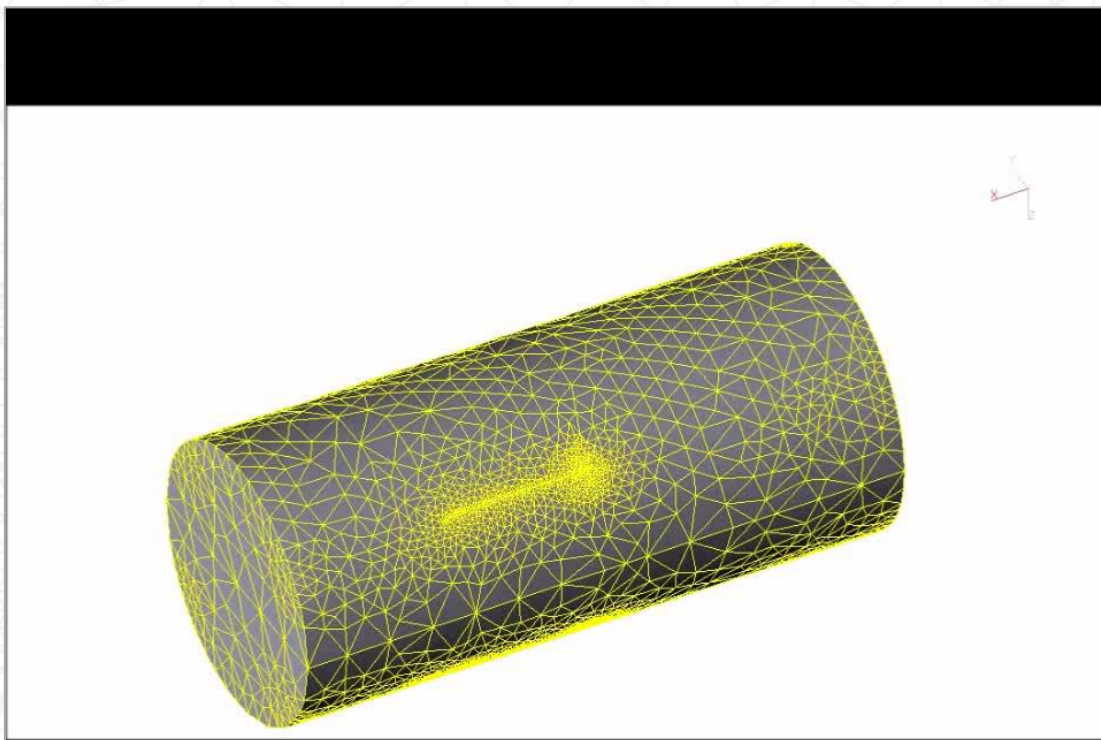
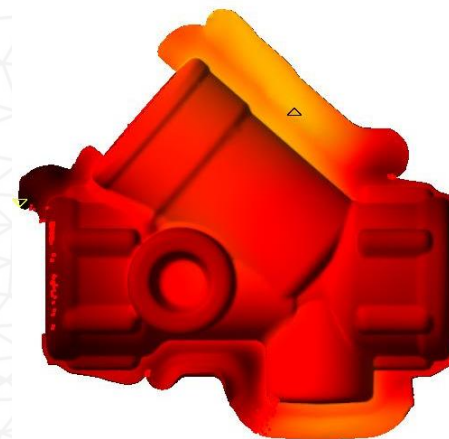
QFORM HT&MS
Heat Treatment Microstructure



Моделирование
термообработки
и микроструктуры

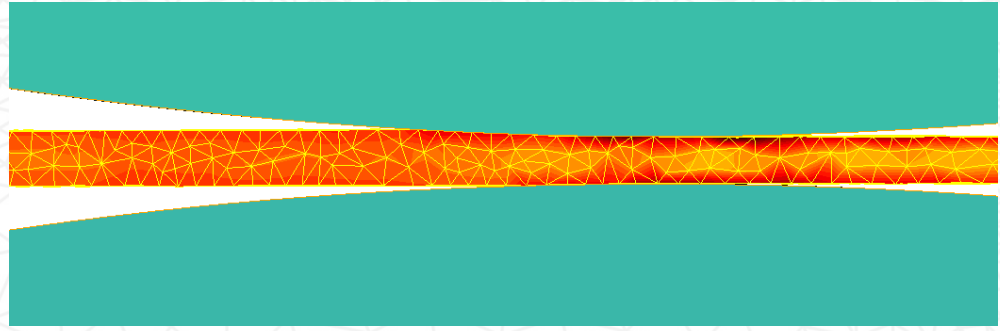
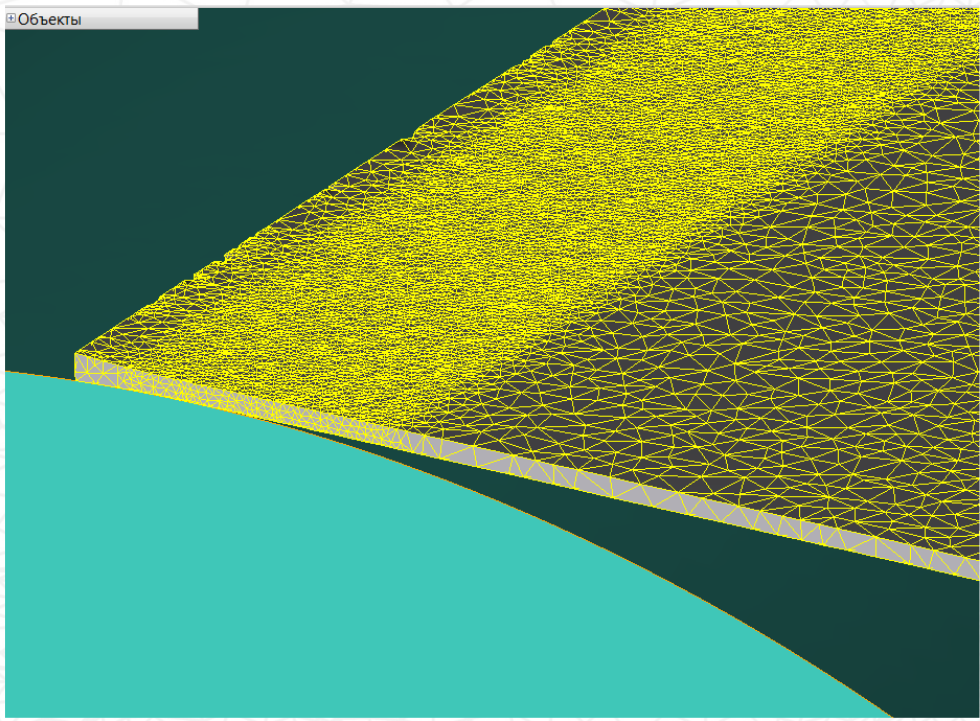
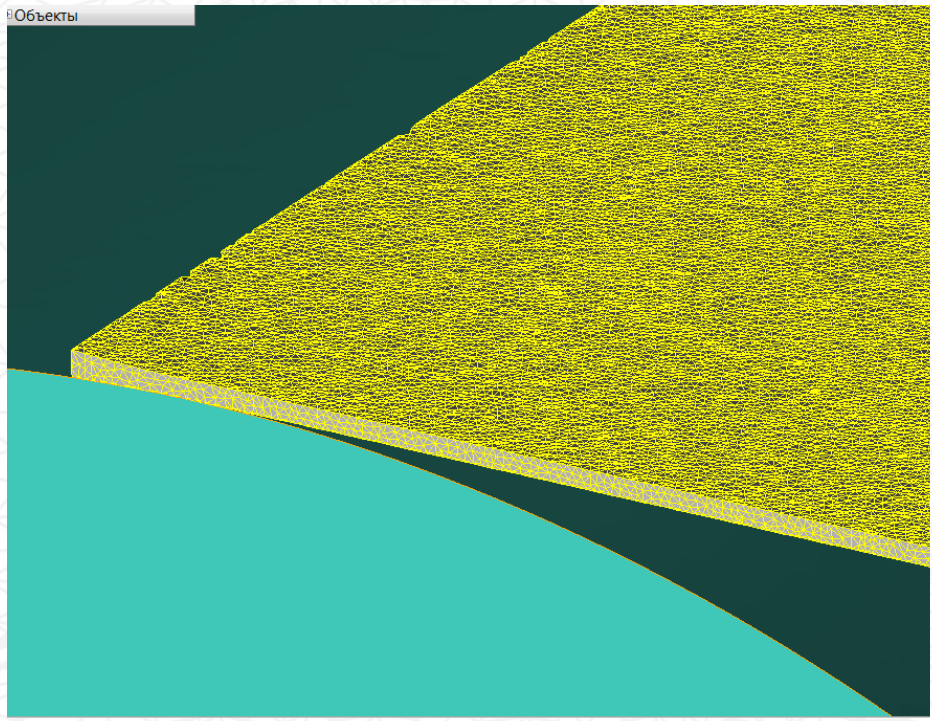
Основные особенности программы QForm: главное – автоматические алгоритмы работы с сеткой

- QForm – метод конечных-элементов для расчета больших деформаций
- Программа спроектирована для промышленного применения инженером: простой интерфейс с высокой степенью автоматизации моделирования
- Исходная геометрия импортируется из CAD системы
- Высокая точность результатов расчетов
- Специальные инструменты исследователя и подробная документация (практика и алгоритмы)
- Автоматический адаптивный генератор сеток

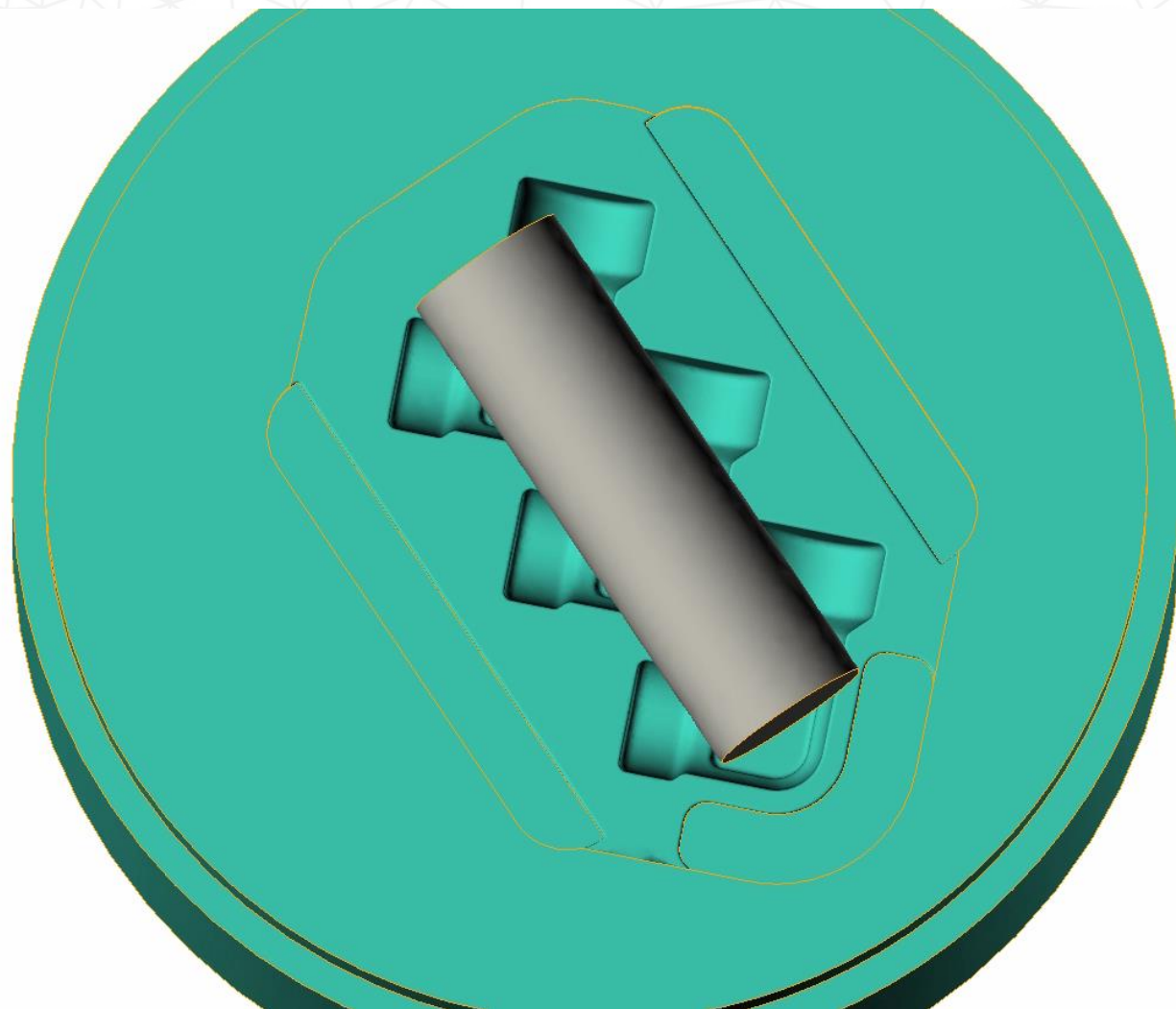


Основные особенности программы QForm

- Двухсеточные алгоритмы: показаны геометрическая, расчетные сетки, сетка по толщине

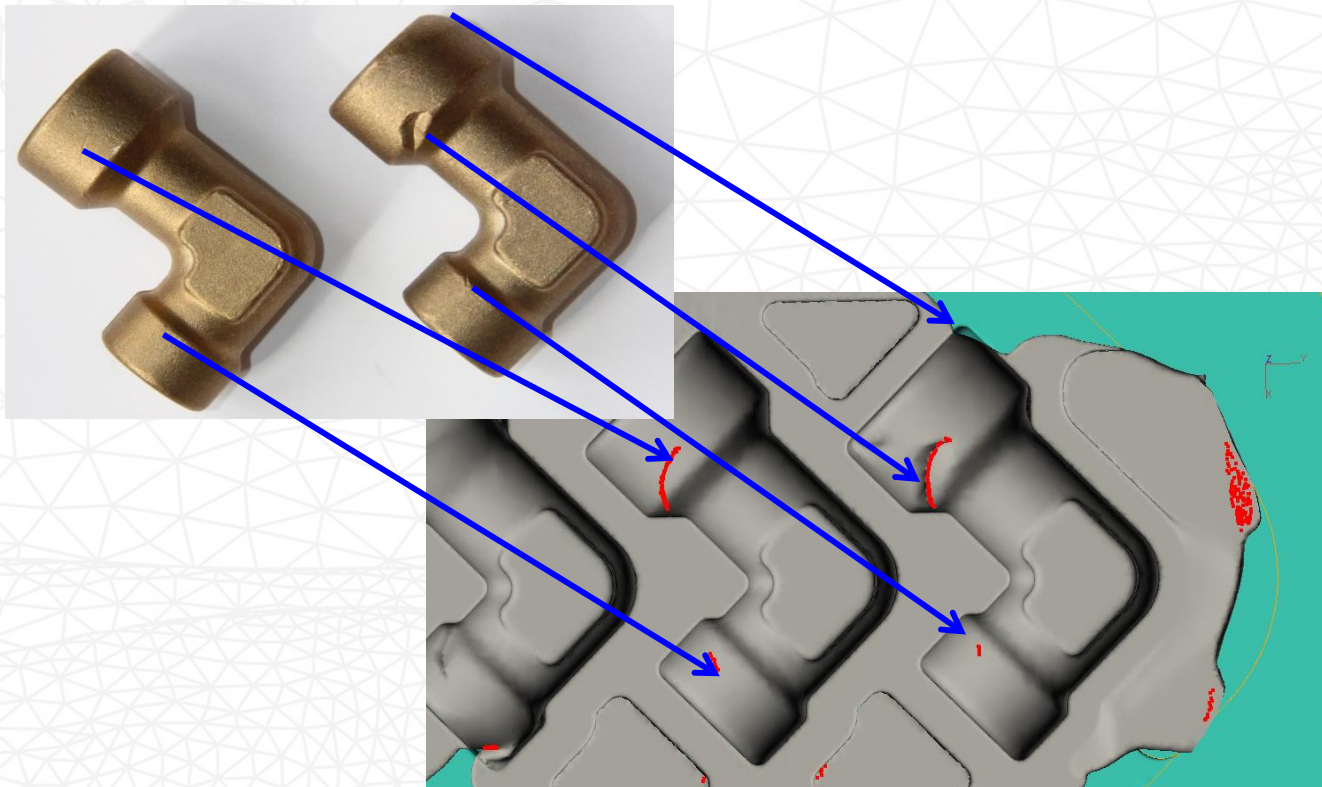


Программа определяет положение и размеры различных дефектов



С разрешения
«Holsby Metall AB»

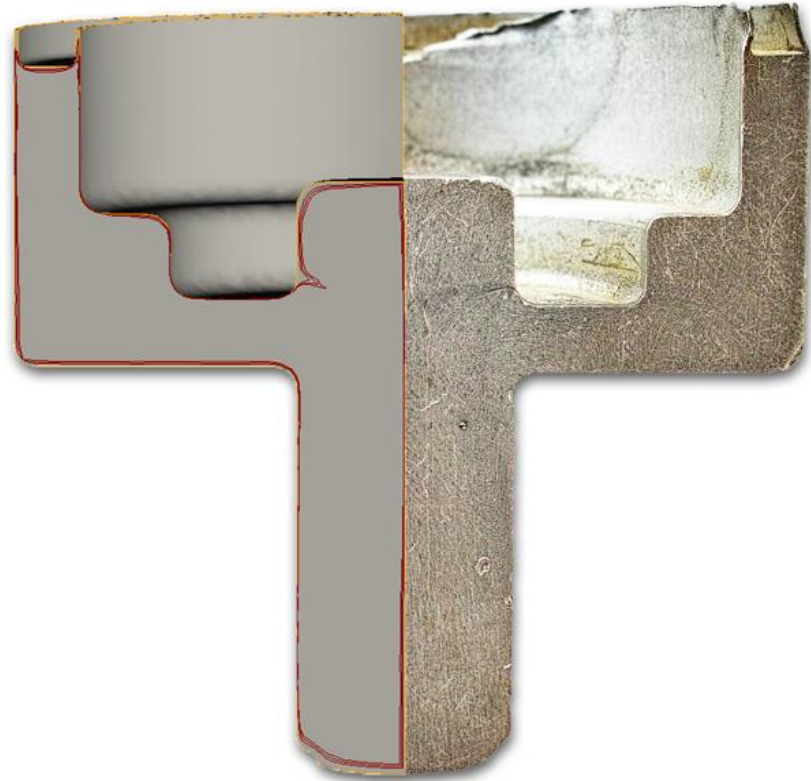
Объемная штамповка – предсказание складок и зажимов



С разрешения
«Holsby Metall AB»

Для чего применяется программа моделирования штамповки?

- Проверка на отсутствие ошибок в технологии:
 - анализ заполнения,
 - наличие дефектов в поковке,
 - прогноз макро- и микроструктуры поковки,
 - анализ стойкости штампов,
 - подбор оборудования
- Оптимизация технологии:
 - снижение расхода металла,
 - увеличение стойкости штампов,
 - снижение силы и работы деформирования
 - улучшение эксплуатационных качеств изделий
- Использование модели процесса как виртуального прототипа
 - Работа с заказчиком\потребителем изделий
 - Проверка и сертификация технологии в КБ
 - Контроль выполнения технологии внутри предпр
 - Контроль и сопровождение технологии при взаимодействии предприятий
 - Хранение полной информации о техпроцессе



Подходы к проектированию

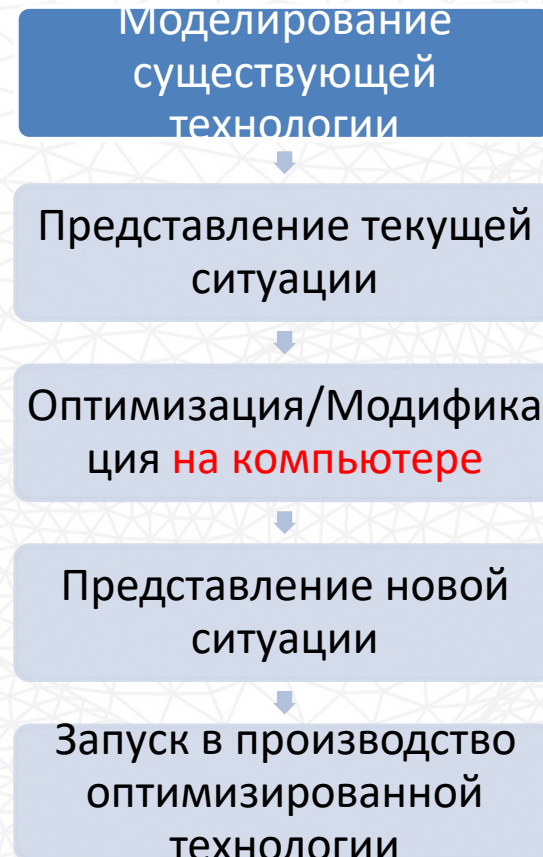
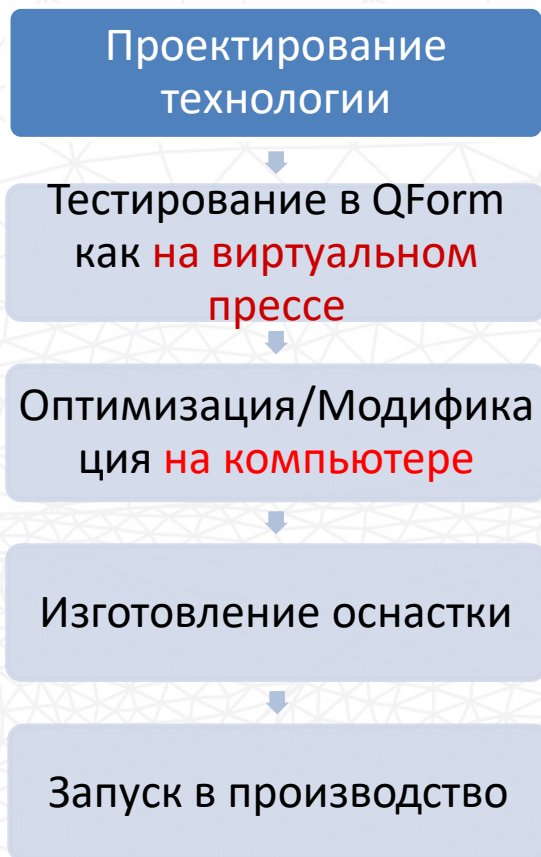
Базовый подход



Современный подход

Новая технология

Существующая технология



Параметры оптимизации

Дефекты заготовки

Незаполнение гравюры

Складки (самоконтакт)

Прострелы

Перегрев / переохлаждение

Трещины – (исчерпание ресурса пластичности)

Заштамповка облоя

Дефекты инструмента

Разрушение инструмента вследствие превышения предела текучести

Малая стойкость штампа вследствие адгезионного износа

Малая стойкость штампа из-за цикловой усталости

Технология

Уменьшение отхода

Предсказание перегрузки пресса

Увеличение срока службы инструмента

Уменьшение затрат энергии

Уменьшение числа переходов

Снижение объема операций последующей чистовой обработки

Последовательность моделирования в QForm

1

- Разработка технологии, геометрической модели инструмента, основных данных технологии (материалы, оборудование, переходы)

2

- Анализ возможных дефектов и проблем технологии
- Формулирование цели моделирования

3

- Формализация модели : 2D или 3D постановка, определение симметрии, необходимость решения тепловой задачи и требуемая степень ее детализации, пластическая или упруго-пластическая модель материала, определение требований и подготовка моделей материалов и оборудования

3

- Формализация модели и заполнение мастера подготовки исходных данных: подготовка геометрической модели и ее упрощение для целей моделирования, задание граничных условий для заготовки и инструмента, условия остановки моделирования, настройки параметров счета (КЭ сетка, шаг, метод, точность и прочие параметры расчета)

Последовательность моделирования в QForm

4

- Моделирование, уточнение модели параллельно с расчетом

5

- Проверка или оценка адекватности модели, уточнение задачи при необходимости

6

- Оптимизация параметров техпроцесса с использованием разработанной модели

7

- Документирование работы, очистка и архивирование проекта

Трение и износ

Цели учета трения:

- Определение контактного касательного напряжения в заготовке для решения главной задачи – задачи формоизменения
- Определение тепловыделения на контакте, пропорционального работе сил трения
- Задание теплопередачи через слой смазки от заготовки к инструменту
- Определение контактного касательного напряжения в инструменте для определения НДС и износа штампа

9.4 Основные факторы, влияющие на контактное трение

1. Сродство материалов «инструмент – заготовка»

Сродство материалов тем меньше, чем больше различаются параметры их кристаллических решеток. При малом сродстве мостики трения (выступы шероховатости) разрушаются по границе инструмент-заготовка и налипания материала не происходит.

2. Смазка

Подбором соответствующих смазок можно значительно снизить силу трения и, соответственно, силу деформирования

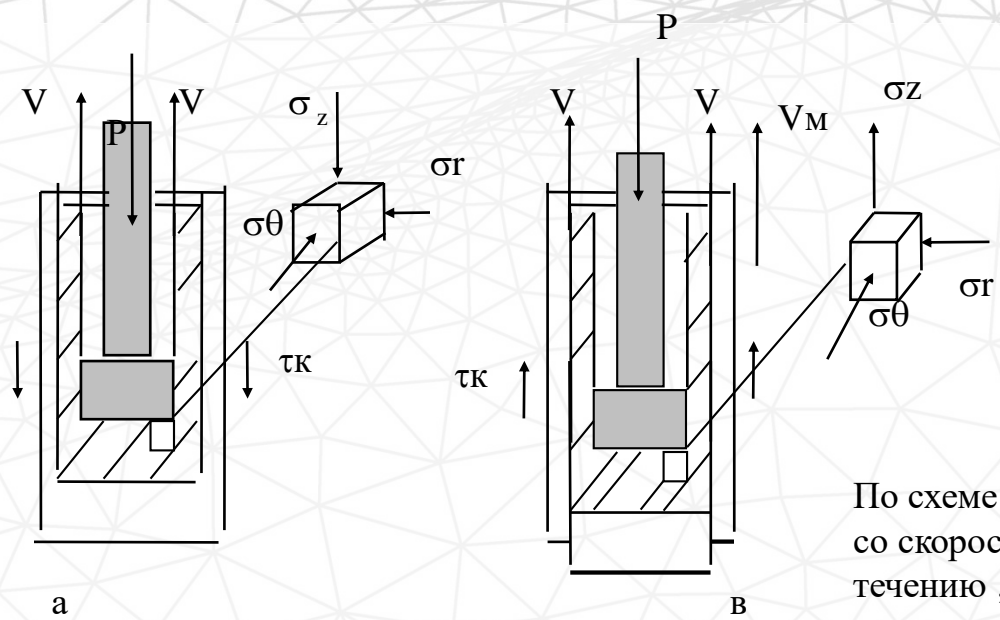
3. Шероховатость поверхности

Шероховатость способствует удержанию смазки. Стремиться к высокой чистоте поверхности инструмента нецелесообразно из-за того, что интенсифицируется процесс образования узлов схватывания и ухудшаются условия смазывания. Следует иметь в виду, что при обработке инструмента резанием на нем образуются риски, имеющие преимущественную ориентировку. Поэтому трение на контактной поверхности анизотропно, зависит от направления. Сопротивление течению металла вдоль рисков механообработки примерно на 20% меньше, чем поперек рисков.

4. Характер нагружения.

При вибрационной обработке или наложения ультразвуковых колебаний имеет место пульсирующая нагрузка. В процессе пульсации инструмент отходит от поверхности заготовки и сплошность смазочной пленки, что снижает силы трения. восстанавливается

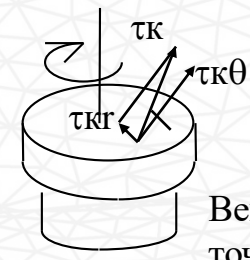
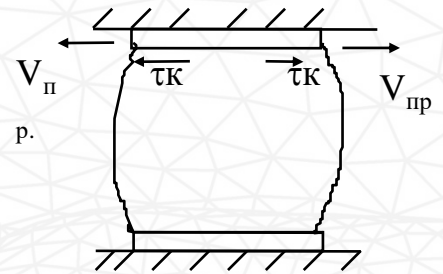
9.5 Активные силы контактного трения



В ряде случаев силы трения могут играть положительную роль, способствуя течению металла.

В операции обратного выдавливания по схеме «а» силы трения между вытекающим вверх металлом (скорость течения V) и неподвижной матрицей играют отрицательную роль, препятствуя течению

По схеме «в» , где матрице придается движение вверх со скоростью $V_M > V$ силы трения способствуют течению , изменяя схему напряженного состояния



Снизить силу трения и деформирования можно придавая вращение бойку (осадка с кручением)

Вектор касательного напряжения в любой точке при вращении можно разложить на радиальный и тангенциальный

$$\tau_k^2 = \tau_{kr}^2 + \tau_{k\theta}^2 .$$

Вредной является радиальная составляющая, препятствующая течению.

Увеличивая значение тангенциальной составляющей изменением скорости вращения можно снизить значение радиальной составляющей, препятствующей течению.

Если при осадке заготовки между между бойком и заготовкой поместить мягкие прокладки с меньшим пределом текучести, чем материала заготовки, то деформация начнется с прокладок и, вытекая из зазора между инструментом и заготовкой со скоростью $V_{пр}$, прокладка увлечет за собой торец заготовки, предотвращая образование бочки.

Объемная штамповка: подпружиненный инструмент

2D-осесимметричное моделирование:

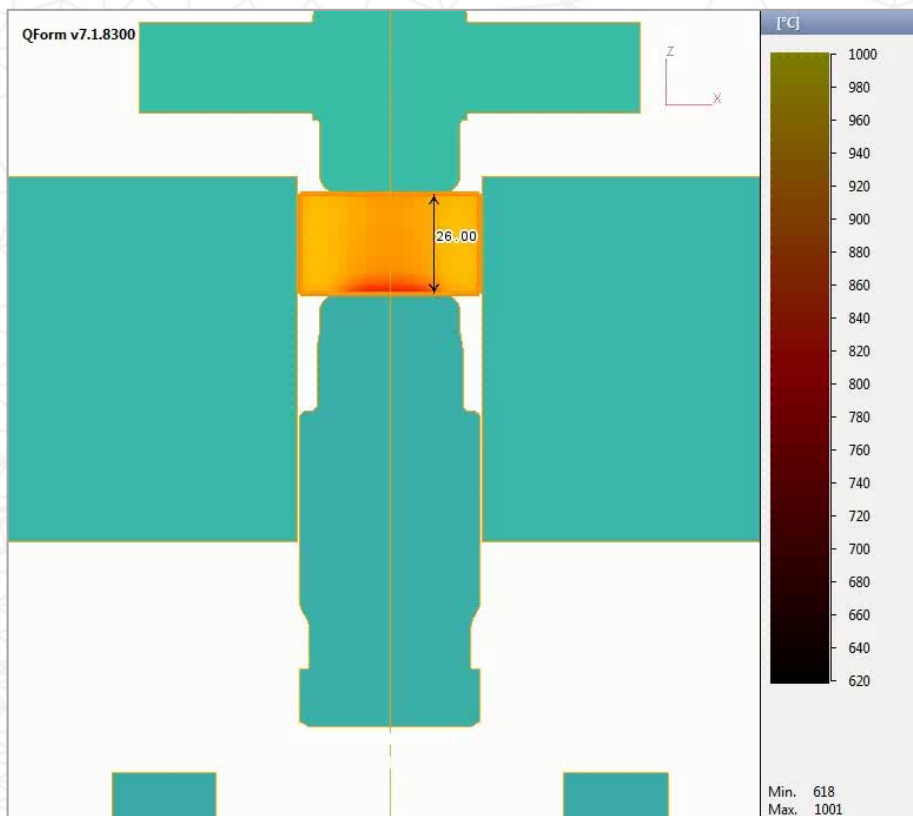
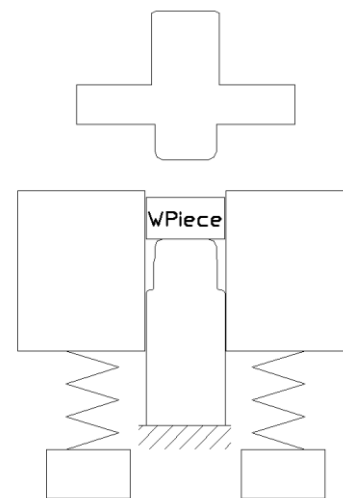


Схема процесса:



Из лекций проф. Власова

Критерии пластичности Мизеса

QForm7 – критерий Мизеса для компактных (сплошных) материалов

$$\bar{\sigma} = \sigma_s$$

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad \text{эффективное напряжение}$$

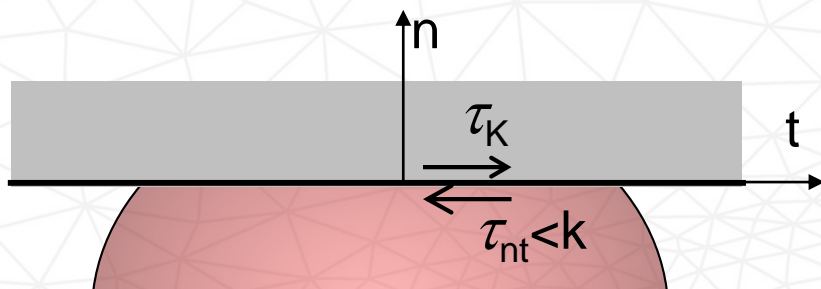
Физический смысл критерия - переход в пластическое состояние происходит при достижении удельной энергией искажения формы предельного значения, не зависящего от схемы напряженного состояния и являющегося характеристикой материала

Следствие – максимальное касательное напряжение не превосходит

$$\tau_{\max} \leq k = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}}$$

Пределные силы контактного трения

Внешние силы трения равны касательным напряжениям в материала на границе



$$\tau_k = \tau_{nt}$$

τ_k – внешние удельные касательные силы

τ_{nt} – касательные напряжения в материале на границе

Пределные силы трения не могут превысить максимальные касательные напряжения

Законы внешнего трения

Закон Амонтона-Кулона

$$\tau_k = \mu \sigma_n$$

Закон Зибеля

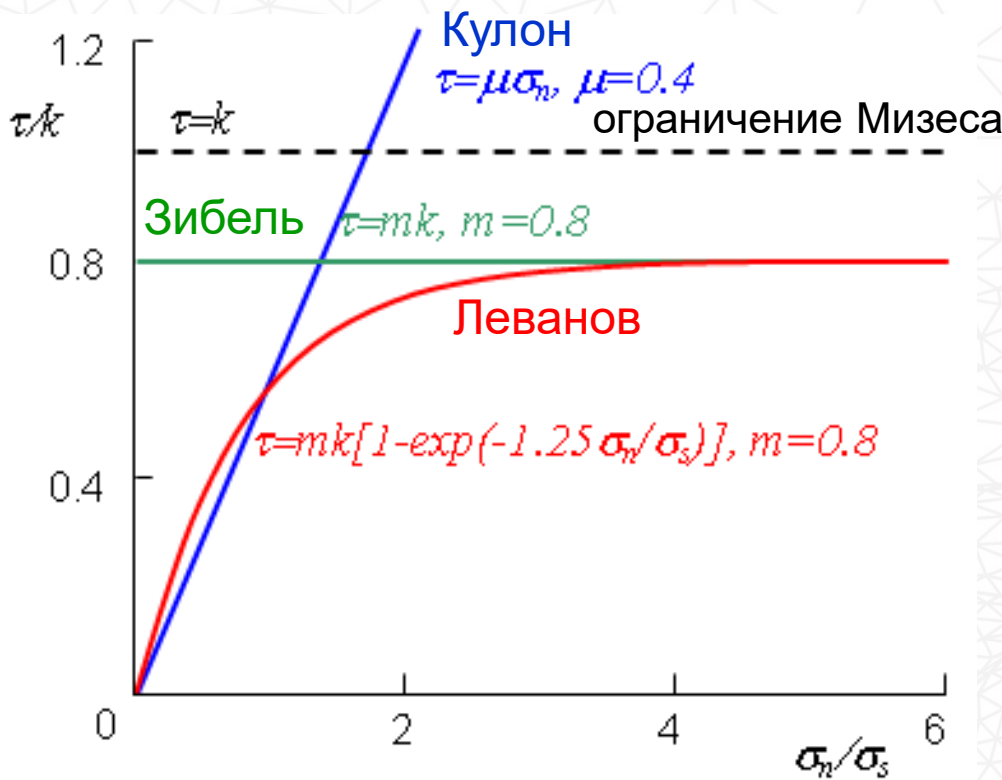
$$\tau_k = mk$$

m – фактор трения (0...1)

Закон Леванова

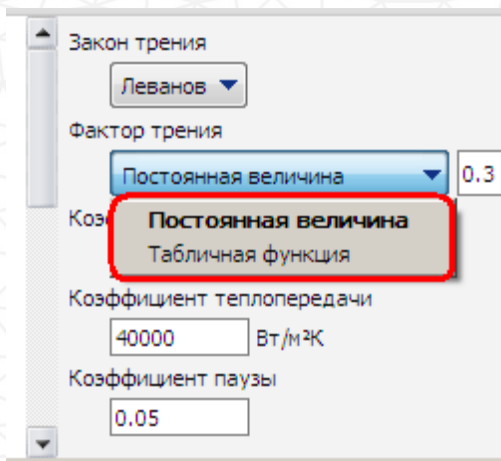
$$\tau_k = mk \left(1 - \exp \left(-b \frac{\sigma_n}{\sigma_s} \right) \right)$$

$b=1.25$ (по Леванову)

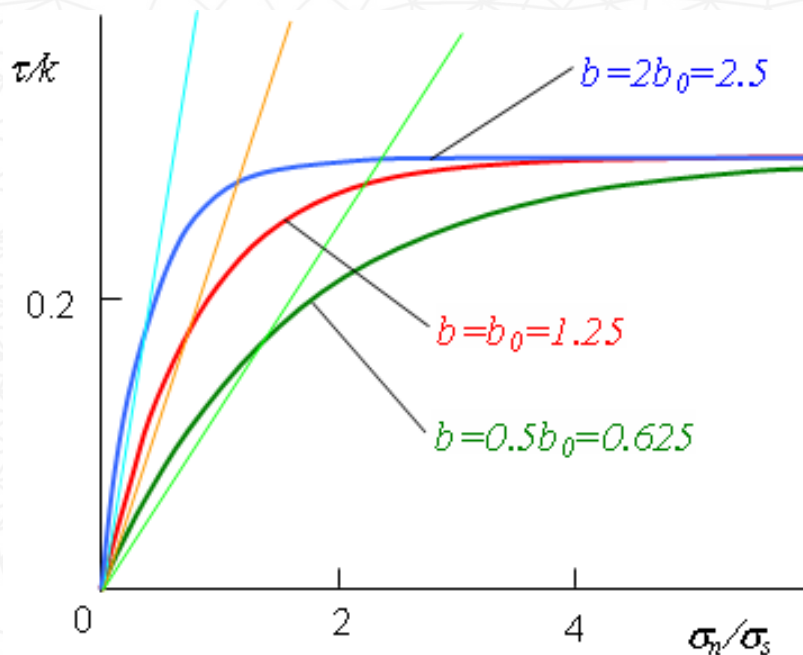
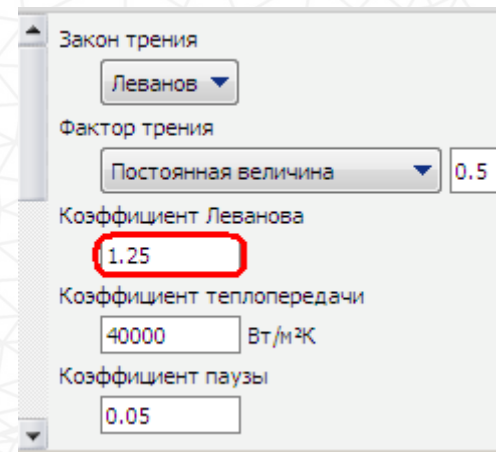


Законы трения в QForm7

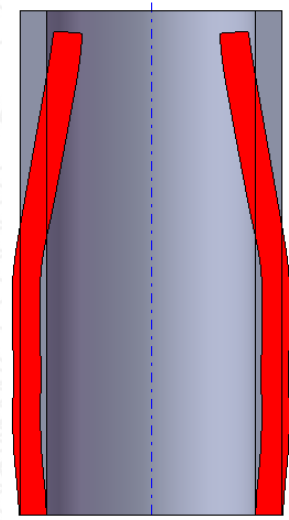
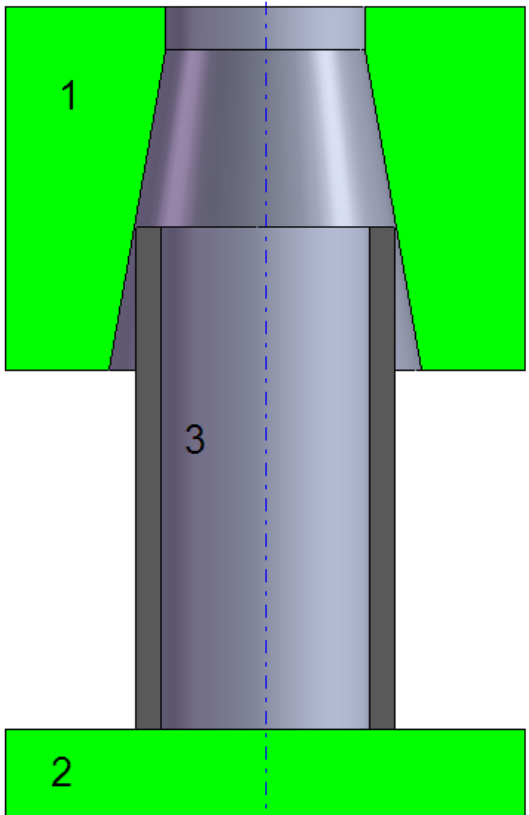
Закон Кулона используется в составном инструменте, Леванова и Зибеля на контакте заготовки с инструментом



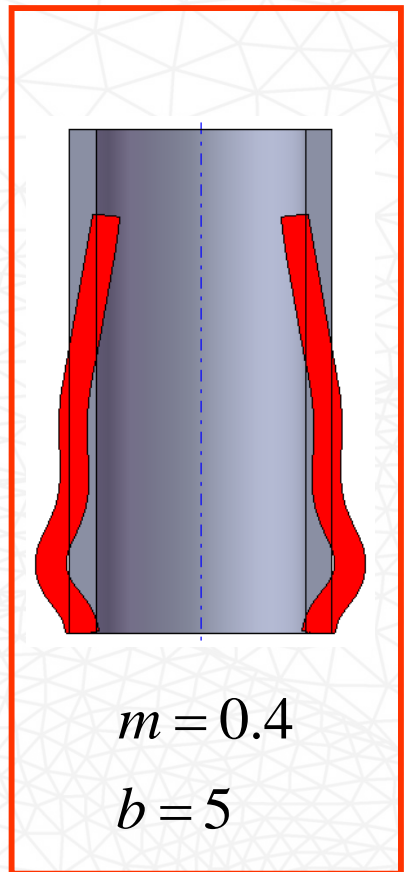
$$m = 0.3 \quad \mu = \frac{b}{2b_0} m$$



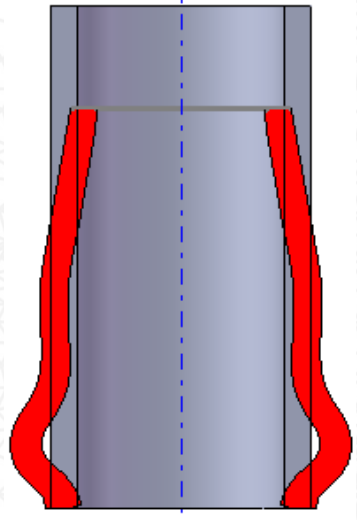
Трение: влияние выбора параметров на точность



$m = 0.4$
 $b = 1.25$

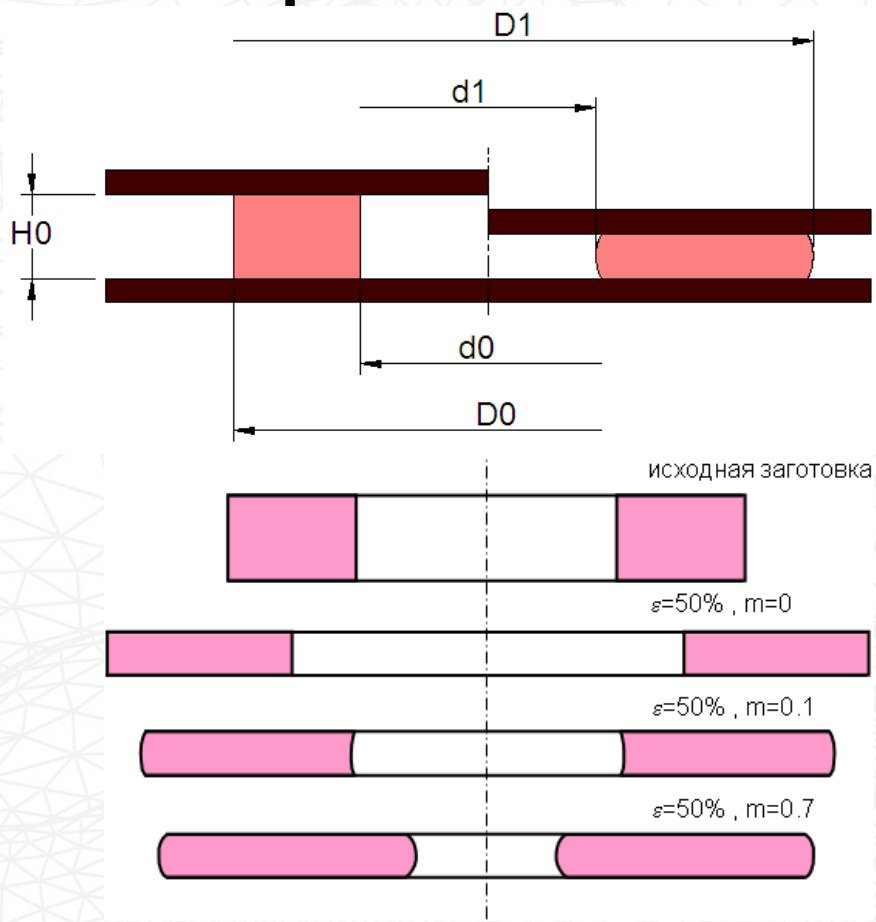


$m = 0.4$
 $b = 5$



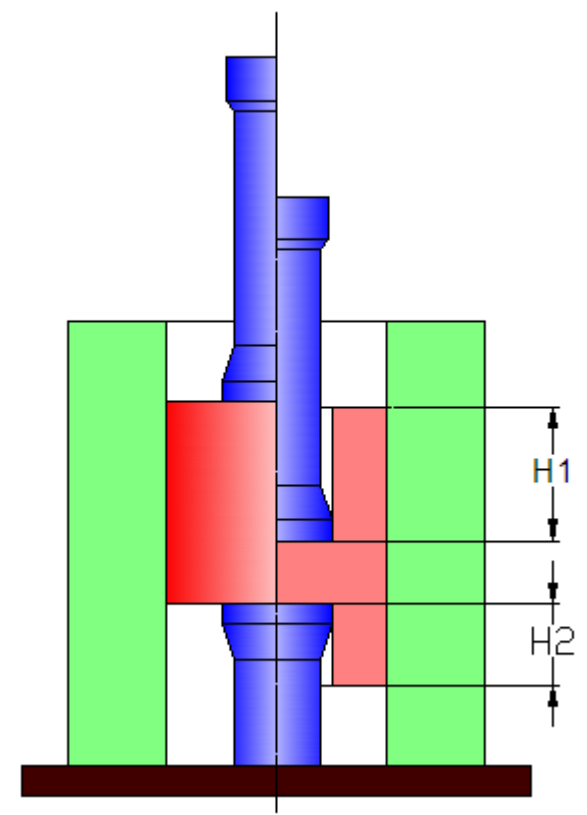
$m = 0.5$
 $b = 5$

Трение: экспериментальное е параметров



осадка кольцевых заготовок

26 (RCT – ring compression test)



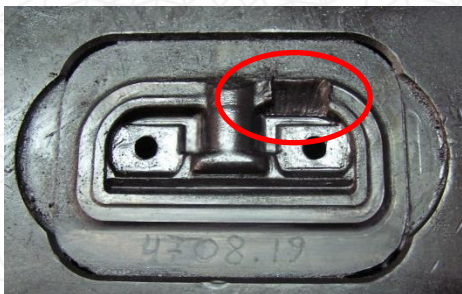
выдавливание двухполосных стаканов

(DCET – double cup extrusion test).

Износ штампа. Из диссертации Сомкиной А.С.

Основные причины потери работоспособности штампов

- Смятие, пластическая деформация



- Разгарные трещины

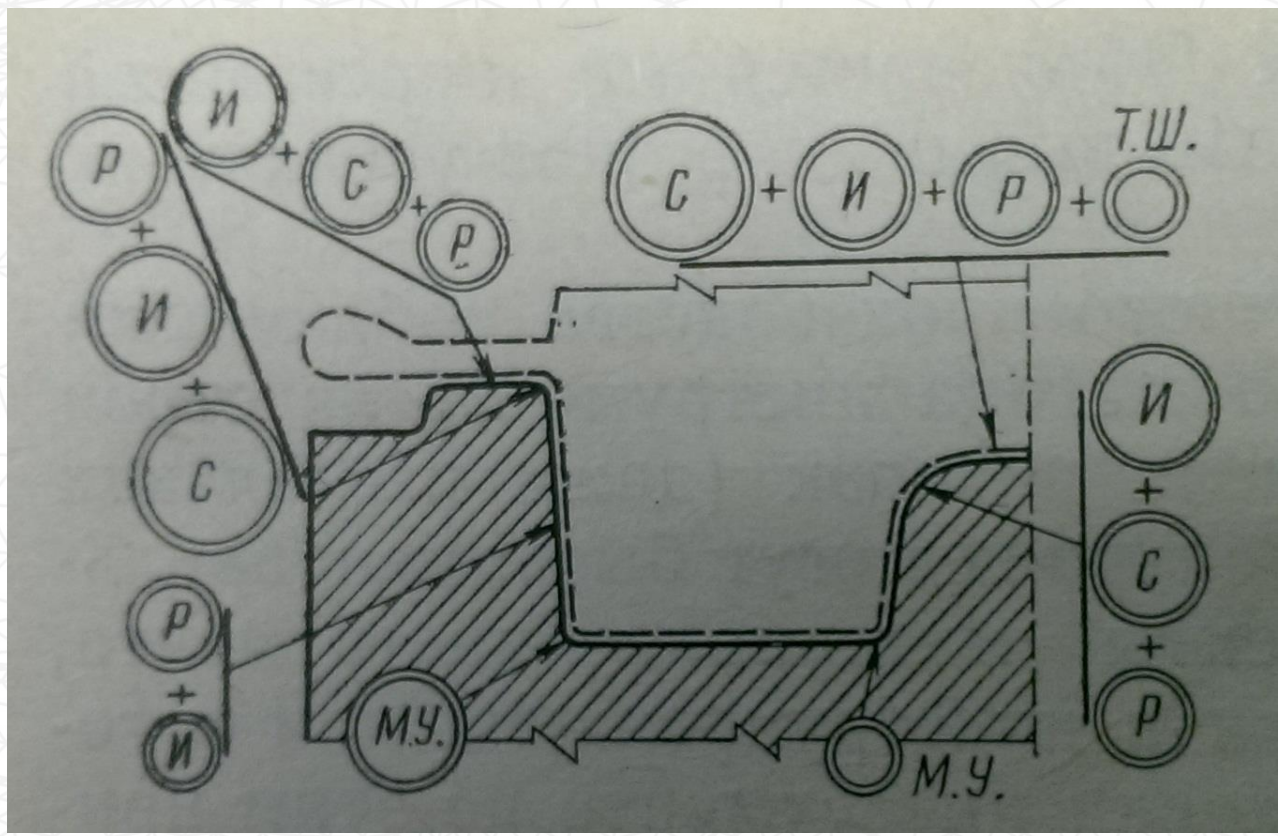


- Истирание (абразивный износ)



- Хрупкое разрушение

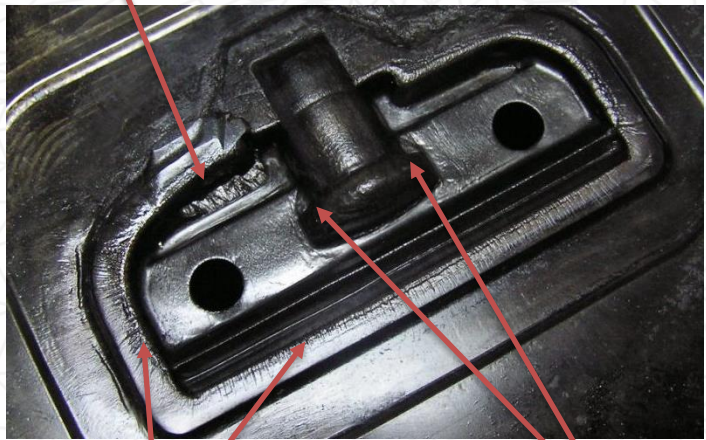
Взаимодействие видов износа и преобладающий износ



С – смятие (пластическая деформация); Р – разгарные трещины;
И – истирание (абразивный износ); Т. Ш. – термошоковая
усталость; М. У. - механическая усталость

Взаимодействие видов износа и преобладающий износ

Пластическая деформация



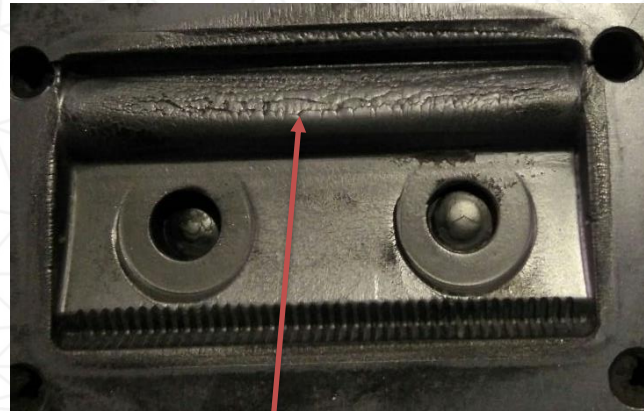
Разгарные трещины

Истирание

Хрупкое разрушение



Разгарные трещины + истирание

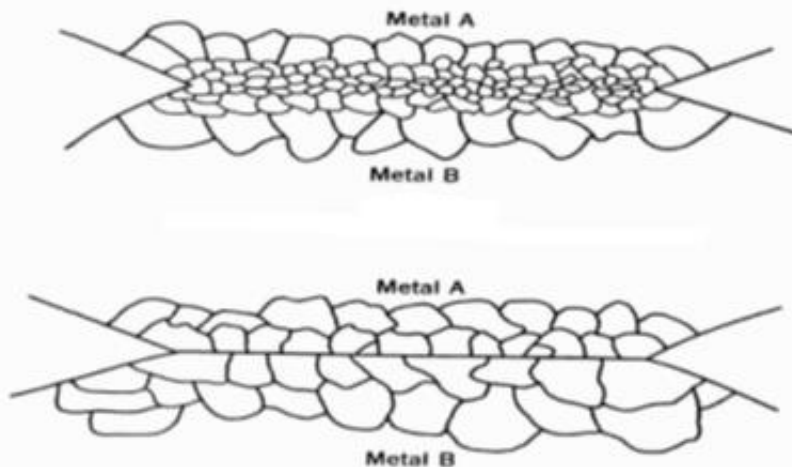


Разгарные трещины + абразивный износ



Адгезионный износ

Адгезия (от лат. *adhaesio* — прилипание) - сцепление поверхностей разнородных твёрдых и/или жидких тел. Адгезия обусловлена межмолекулярными взаимодействиями в поверхностном слое и характеризуется удельной работой, необходимой для разделения поверхностей.



Отличие сварки (вверху) от адгезионного механизма (внизу)

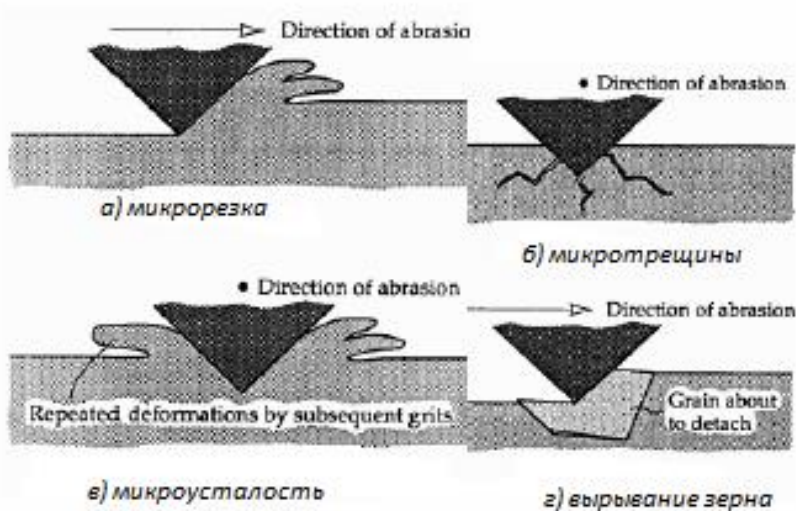
Модель адгезионного износа

$$W = \int_0^t \frac{a \cdot \tau \cdot v_\tau}{\bar{\sigma}} dt$$

a – эмпирический коэффициент;
 τ – касательные напряжения;
 v_τ - относительная скорость скольжения материала;
 $\bar{\sigma}$ - напряжение текучести, характеризующее твердость.

Абразивный износ

Абразивный износ – процесс удаления материала с поверхности, при котором жесткие частицы скользят или катятся по поверхности детали под давлением. Частицы могут быть свободными или являться частью другой поверхности.



Протекание износа на микроуровне



Абразивный износ – основная причина потери работоспособности штампа при горячей штамповке деталей из сплава БрАЖ9-4.

Основные модели износа

Модель Арчарда:

$$\delta W = k \cdot p \cdot \delta L$$

где δW – объем удаленного материала за время δt ;

δt – время цикла;

k – коэффициент износа;

p – нормальное контактное давление;

δL – расстояние скольжения за время δt .

Модель Паэнтера:

$$Z_{abr} = K_{abr} \cdot \frac{p \cdot V \cdot \Delta t}{H_d^m}$$

$$Z_{adh} = K_{adh} \cdot \frac{p \cdot V \cdot \Delta t}{H_w}$$

где Z_{abr} и Z_{adh} – глубина износа, абразивного и адгезионного соответственно;

K_{abr} и K_{adh} – абразивный и адгезионный коэффициенты износа;

m – коэффициент твердости (обычно $m=2$ для стали);

p – контактное давление;

V – скорость скольжения;

Δt – время шага;

H_d и H_w – твердость штампа и заготовки соответственно (зависят от температуры штампа и заготовки).

Модель Беренса:

$$\Delta h = \frac{k}{H(t, T)} \sum_{inc=1}^N \sigma_N v_{rel} \Delta t$$

где Δh – глубина износа, мм;

$H(t, T)$ – твердость, зависящая от времени и температуры, Н/мм²;

Δt – длительность шага при моделировании, с;

Модель Канга:

$$d_{fin} = \sum_1^{n_{fin}} \frac{kPL}{3H} \cdot \frac{H}{H(T, t, w_{initial})}$$

где H – твердость штампа при установившихся температурах

$H(T, t)$ – функция уменьшения твердости с учетом параметра закалки

d_{fin} – допустимая величина износа в промышленности.

Параметр закалки:

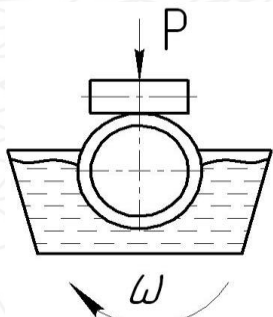
$$P = T(a + lgt_1)$$

где T – температура закалки, К;

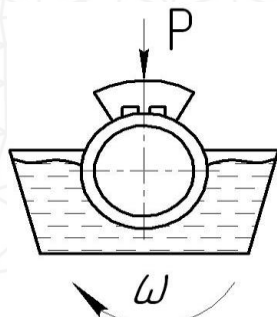
t_1 – время закалки, ч;

$a = 20$ – коэффициент для стали.

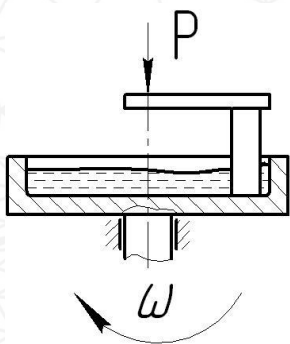
Испытания по определению коэффициента износа



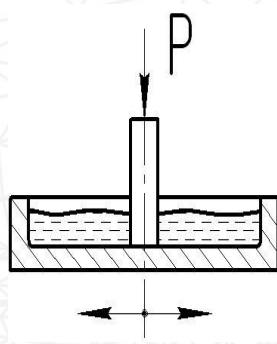
А. Ролик – роликоподшипник



Б. Ролик – колодка



В. Диск – палец



Г. Пластина – палец

Схемы испытания образцов

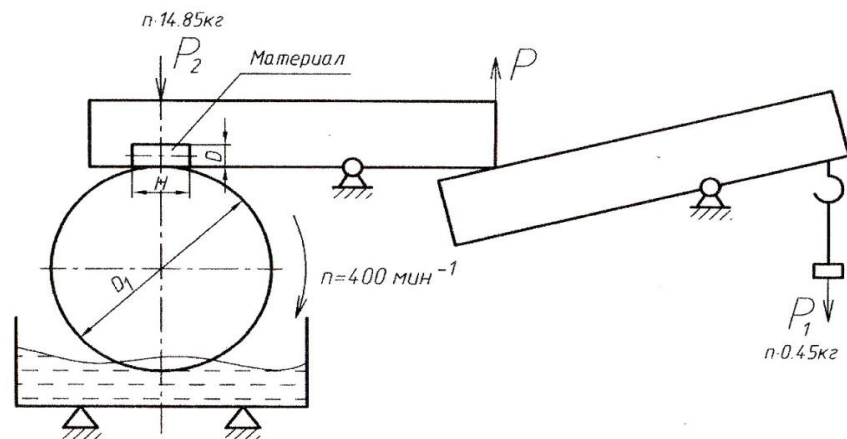
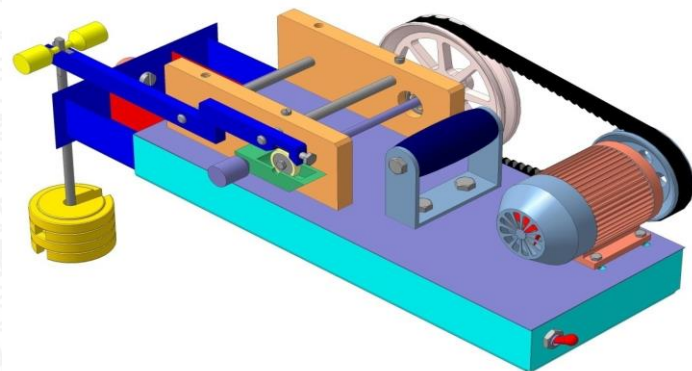


Схема испытаний на износостойкость на машине трения



Машина трения МТ 10

Экономический эффект от внедрения программы

Программа QForm предназначена для разработки, проверки качества и оптимизации технологических процессов, используя конечно-элементные модели (виртуальные прототипы). Замена физического прототипа его виртуальным аналогом приводит к радикальному снижению материальных затрат и времени на создание и обработку новых изделий и технологий.



- Апробация опытной технологии на экране компьютера, оптимизация;
- **Снижение расходов на проектирование** технологии
- **Снижение расхода металла,**
- **Снижение расходов на инструмент** (увеличение стойкости штампов);
- **Снижение процента брака и повышение качества продукции** за счет прогноза микро- и макроструктуры на этапе проектирования: возможно «заглянуть внутрь» штампуемого изделия
- **Не прямой экономический эффект** за счет использования современных технологий (привлечение **новых кадров** и **быстрое повышение квалификации**, выше гибкость в проектировании, предварительный оперативный просчет технологии для проработки заказа и пр).



Эффективность применения программного обеспечения «КванторФорм» подтверждается долгосрочным сотрудничеством как с российскими, так и зарубежными заказчиками различных отраслей промышленности.

Экономия по статье снижения расходов на проектирование и отработку технологии



©Ray Wood



©Escher Magnus



С разрешения DMM, Llanberis, Wales

Использование QForm

➤ **Ожидания от использования QForm 7:**

- Решение сложившихся проблем (большое количество пробных штамповок и модификаций штампов)
- Проверка продукции до её изготовления

➤ **Результат использования QForm 7:**

- Снижение количества пробных штамповок и модификаций
- Снижение стоимости и времени запуска в серию (отсутствие пробных штамповок)
- Оптимизация заготовки
- Оптимизация геометрии инструмента



The finished product, an aluminum carabiner for climbing tackle hardware.



The finite element mesh of an aluminum carabiner forging at the end of stroke.

Экономическая эффективность

- Пробная штамповка £500
- Модификация инструмента £50/час

«Карабины»

- 17 Типов
- 40 испытаний
 - £20,000
- Модификация
 - £6,000
- Испорченные матр.
 - £4,000
- **Потери**
 - **£30,000**

«Cresto»

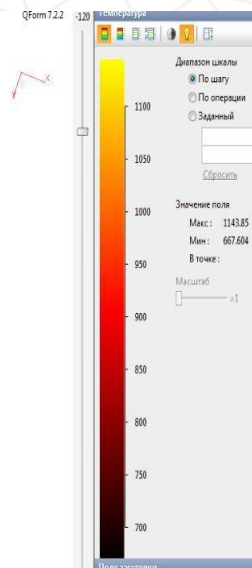
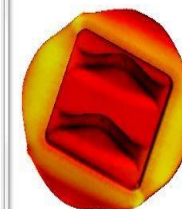
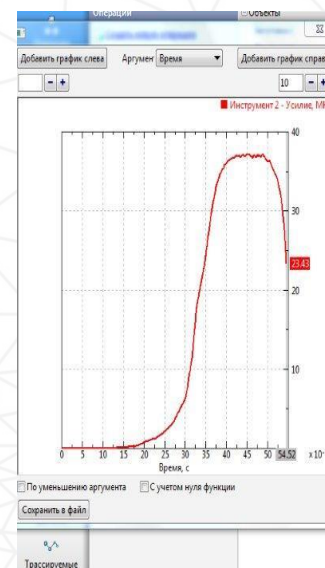
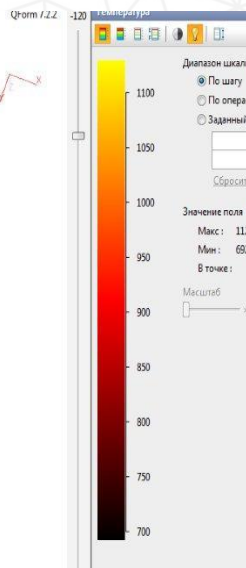
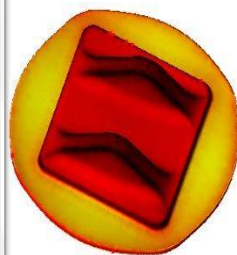
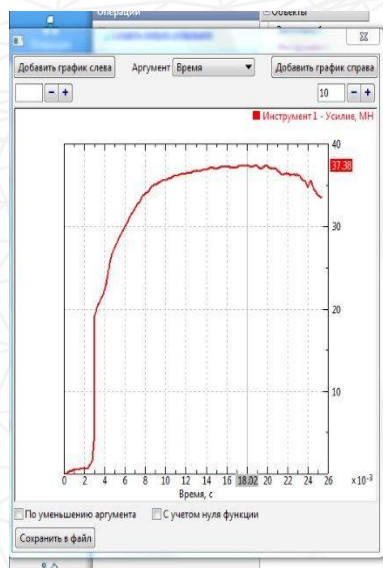
- 8 Типов
- 20 испытаний
 - £10,000
- Модификация
 - £3,000
- **Потери**
 - **£13,000**

«Axes»

- 5 типов
- 15 испытаний
 - £7,500
- Модификация
 - £2,000
- **Потери**
 - **£9,500**



Экономия металла: Результаты внедрения ПО QForm (дет. «Накладка»).



Существующая технология

Расчетная технология

Потребное количество металла на 2013г.:

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| 1. Сталь – 145,6 тн; | 2. Алюминий – 155,7 тн; |
| 3. Титан – 27,4 тн; | 4. Магний – 3,8 тн. |

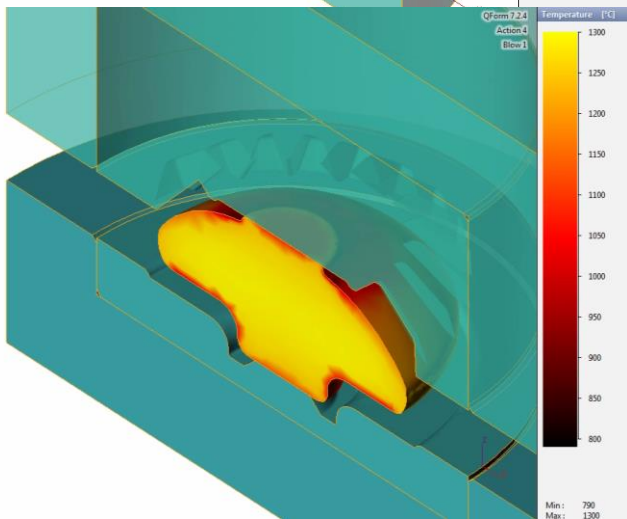
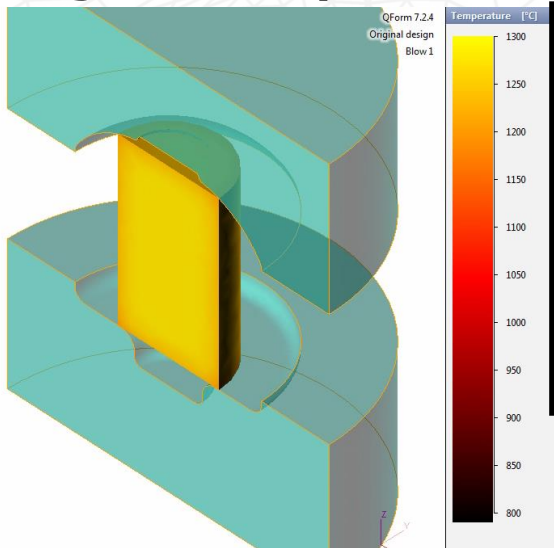
Снижение затрат на материал

– **5,4 млн. руб.***

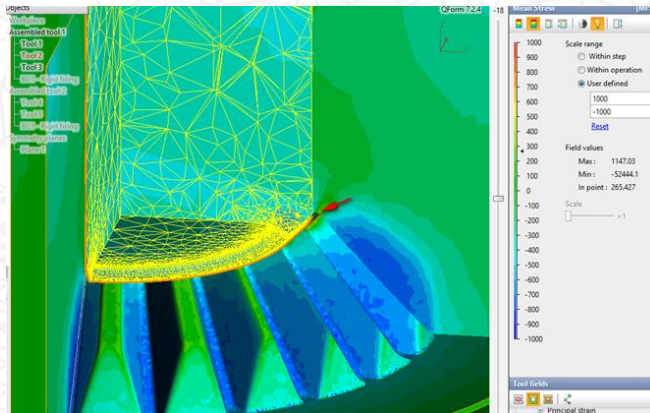
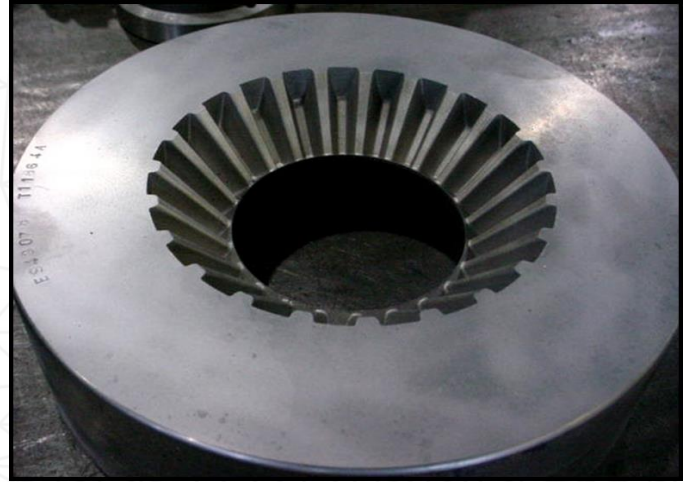
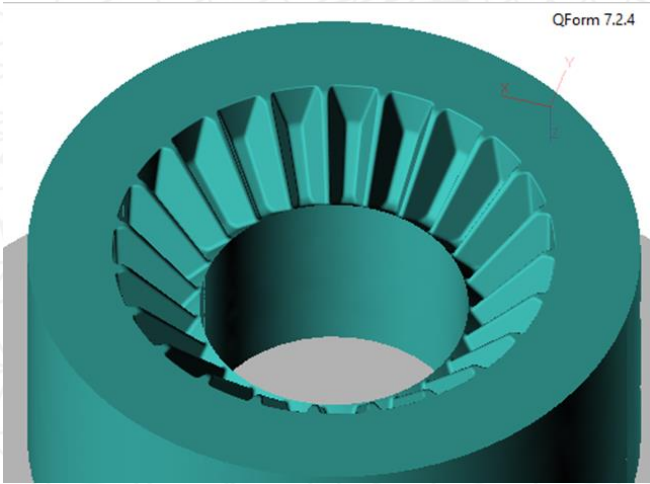
* - снижение затрат на всю номенклатуру выпуска за 2013г.

Снижение нормы расхода на 6%

Экономия по статье снижения расходов на инструмент (повышение стойкости штампов)



Штамповка шестерни



Составной
инструмент

Стойкость штампов увеличена на 150%

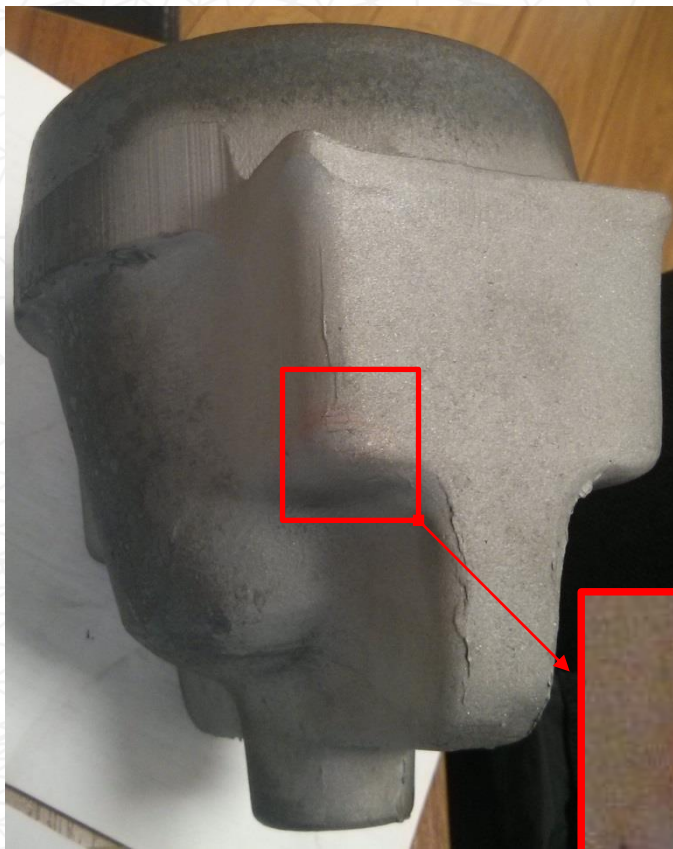
Экономический эффект составил **18000 \$ в год** (для 20 штампов)

Поиск причины периодического появления дефекта «складка» при горячей штамповке фланца

Экономия за счет снижения брака

План исследования:

1. Моделирование базового варианта.
2. Оценка влияния материала заготовки.
3. Оценка влияния величины осадки.
4. Оценка влияния геометрии инструмента



Моделирование исходного технологического процесса:

Оборудование: Молот 3 тн.

Марка материала	Заготовка		Кол-во штамповок из заготовки	Кол-во деталей из штамповки	Переходы штамповки
	Сечение, мм	Длина, мм			
12Х2НВФА	$\phi 100_{-1,7}$	199^{+2}	1	1	А)осадка в торец до 170 мм Б)осадка плашмя до 80 мм В)в окончательном ручье в торец



Рис.3. Осадка в торец до 170 мм.

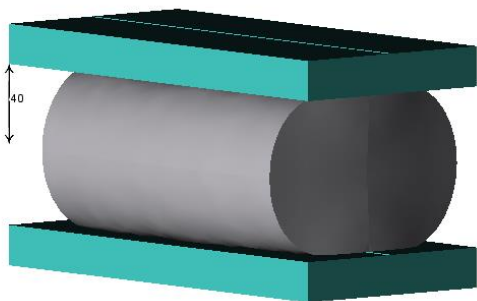


Рис.4. Осадка плашмя до 80 мм.



Рис.5. Окончательная штамповка.

Вывод: при соблюдении технологии дефект не обнаружен.

Поиск появления дефекта в зависимости от:

- величины осадки на 1-м и 2-м переходах.
- материала заготовки (12Х2НВФА, 5ХНМ)
- геометрии инструмента

Исследование влияния материала заготовки:

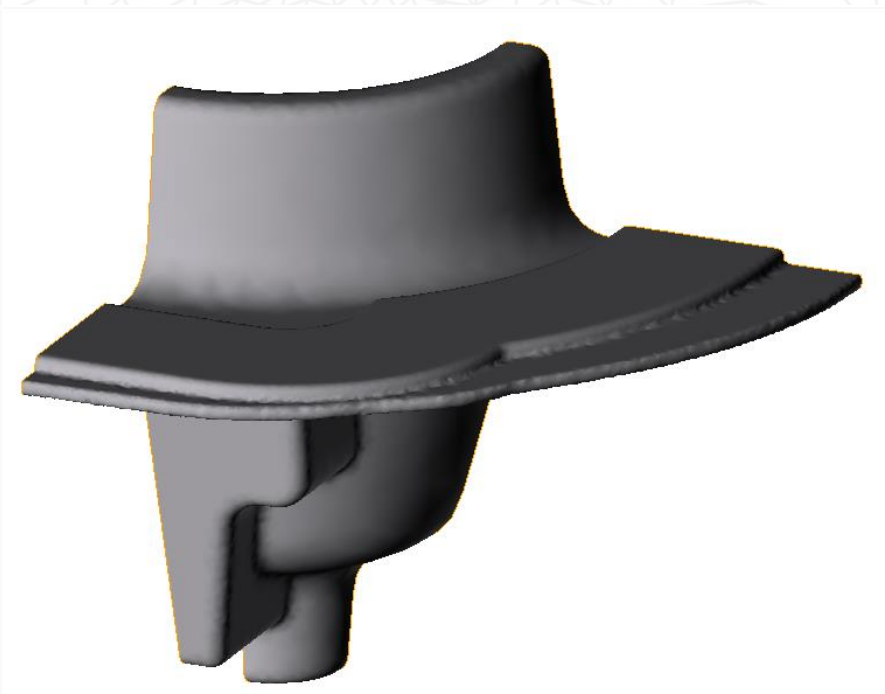


Рис.13. Результат окончательной штамповки (осадка на первой операции до 170 мм, осадка на второй операции до 80 мм). Материал 5ХНМ.

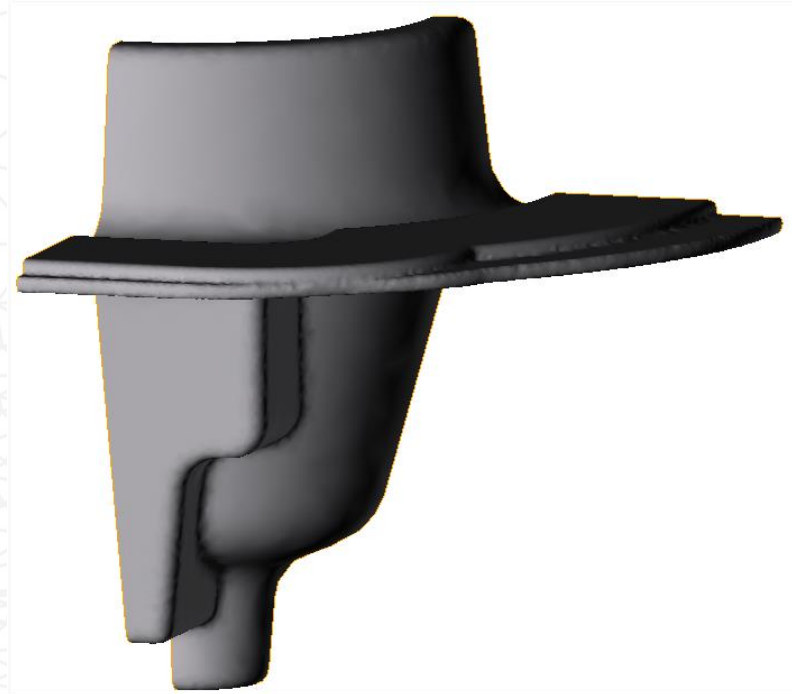


Рис.14. Результат окончательной штамповки (осадка на первой операции до 170 мм, осадка на второй операции до 80 мм). Материал 12Х2НВФА.

Дефект не обнаруживается

Исследование влияния степени осадки на первой операции :



Рис.6. Результат окончательной штамповки при осадке на первой операции до конечного расстояния **165 мм**.

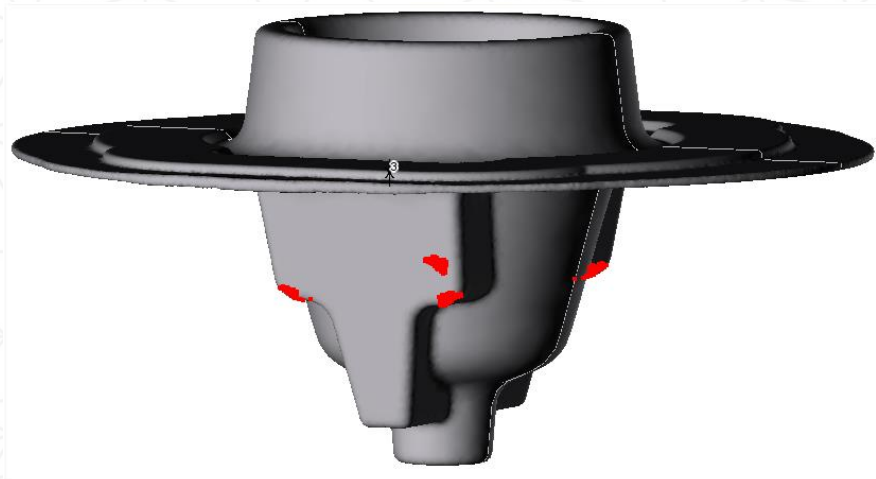


Рис.7. Результат окончательной штамповки при осадке на первой операции до конечного расстояния **160 мм**.

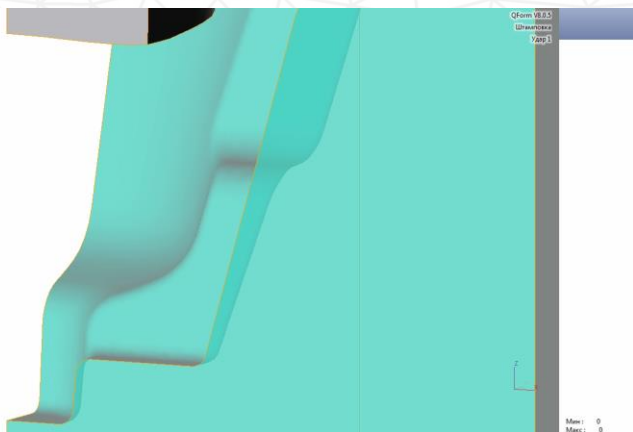


Рис.8. Результат окончательной штамповки при осадке на первой операции до конечного расстояния **155 мм**.

Исследование влияния геометрии инструмента:

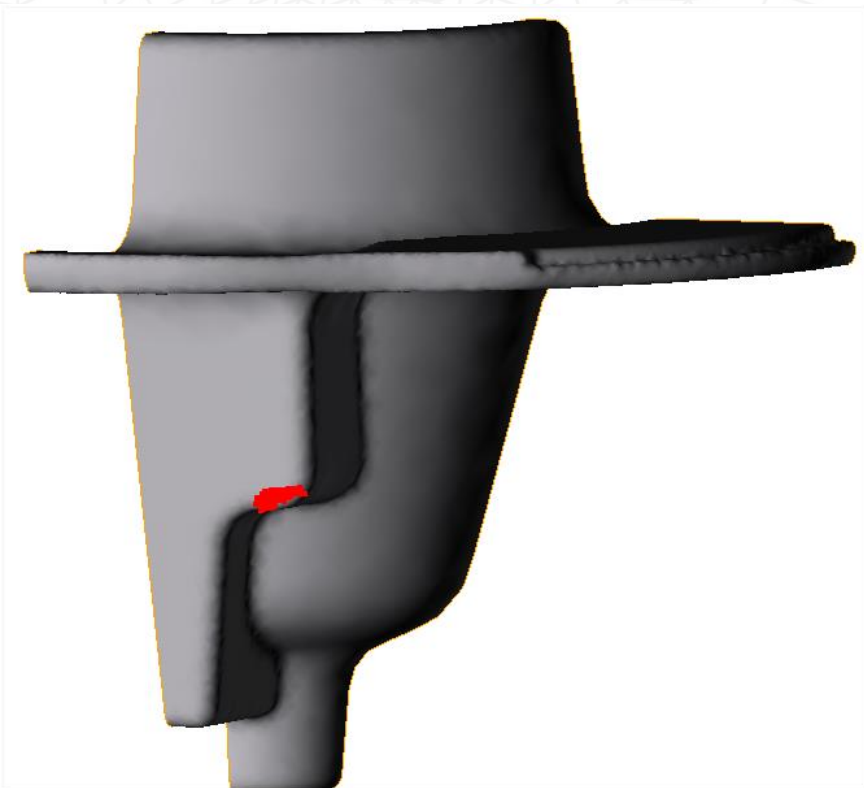


Рис.16. Результаты моделирования с использованием геометрии инструмента до модернизации.

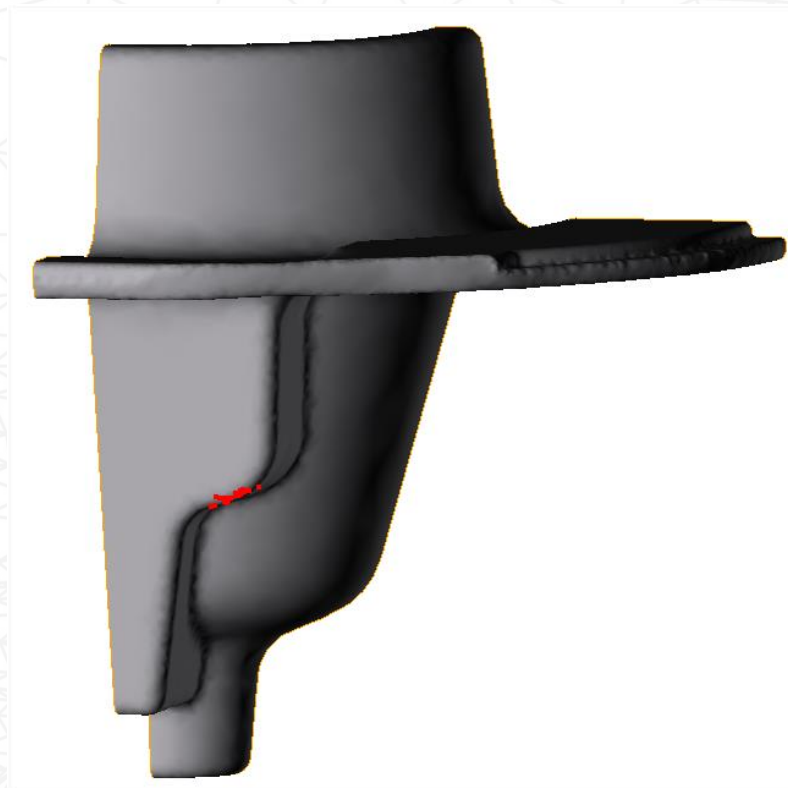


Рис.17. Результаты моделирования с использованием геометрии инструмента после модернизации.

Итоги:

1. Дефект появляется при чрезмерной осадке на первом переходе штамповки. **Дефект появляется** при осадке до 165 мм и растет при дальнейшем увеличении осадки.
2. **Для устранения брака** рекомендуется продемонстрировать видео появления дефекта кузнецу. Разъяснить причину появления дефекта.
3. Полезно использовать упоры для ограничения высоты осадки



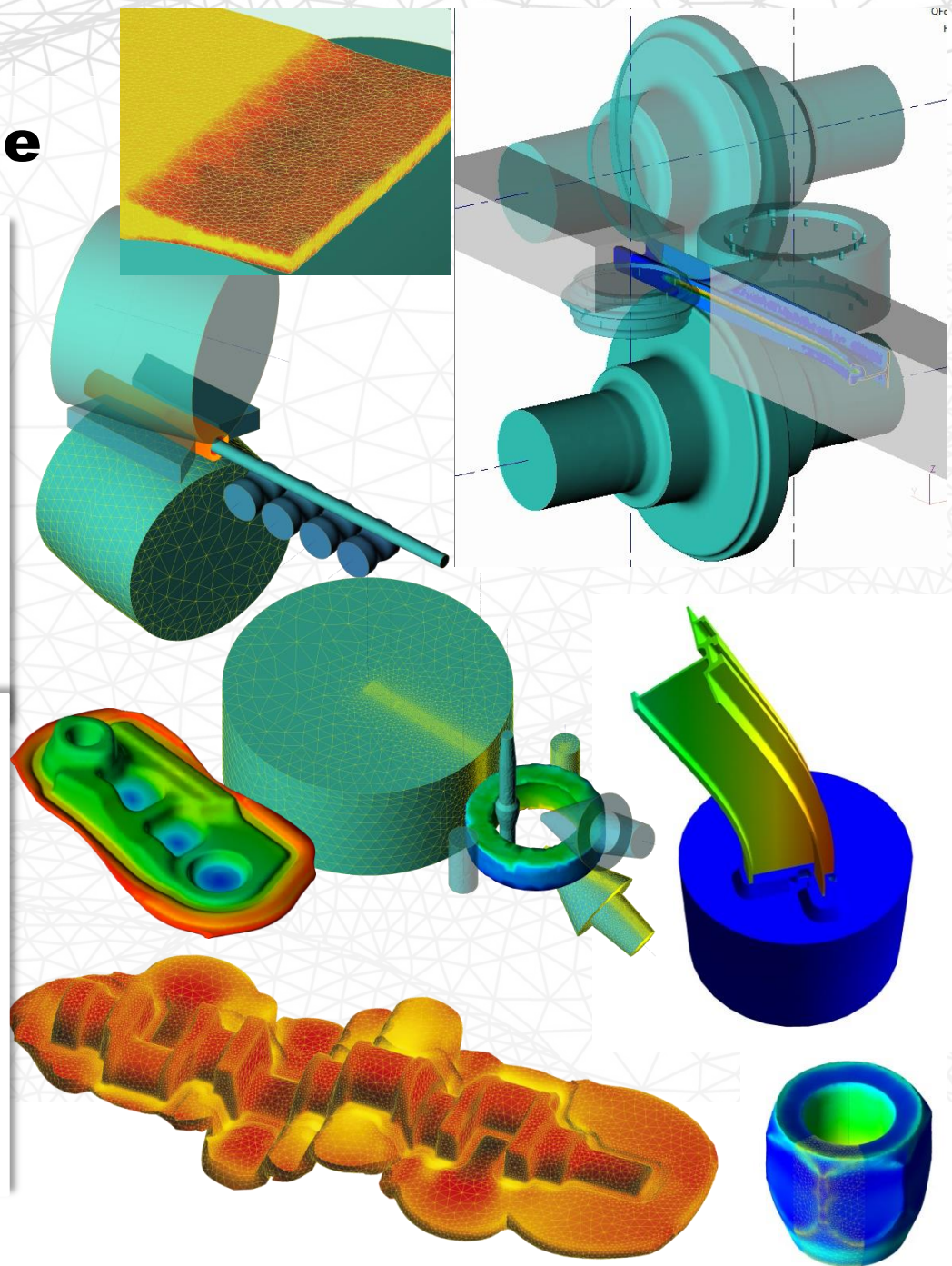
QForm: предназначение

➤ Решение задач технологии:

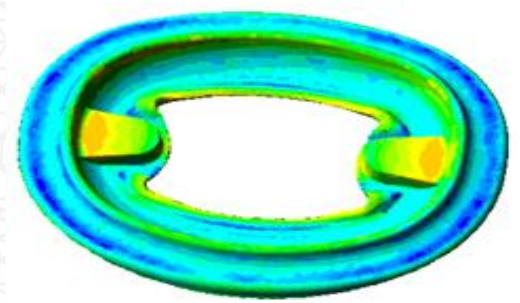
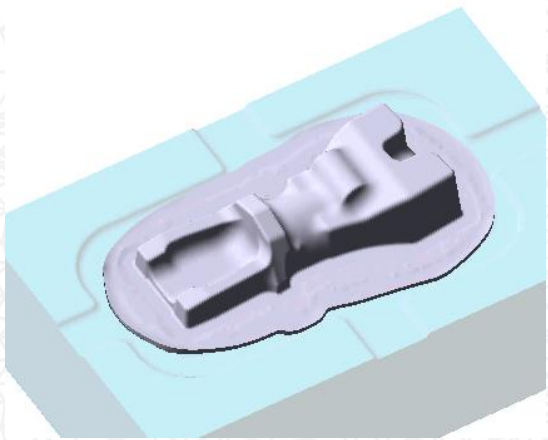
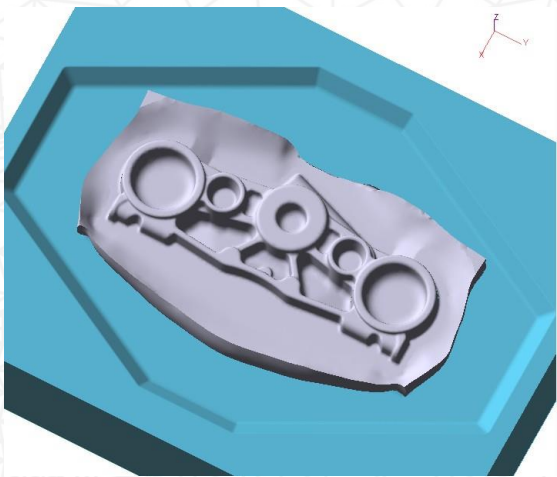
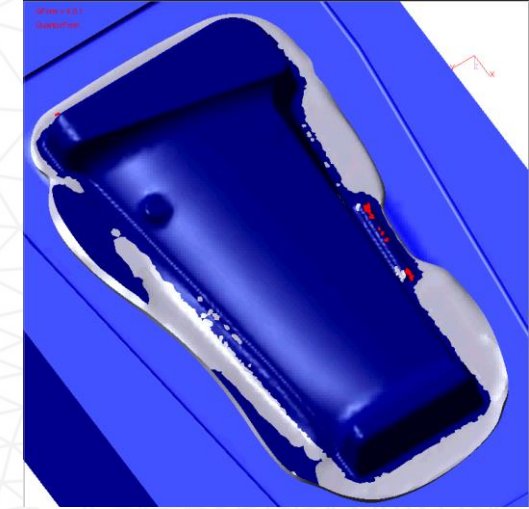
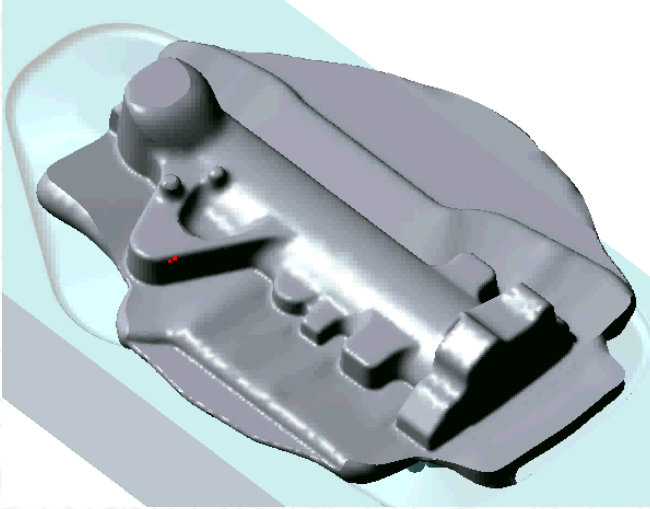
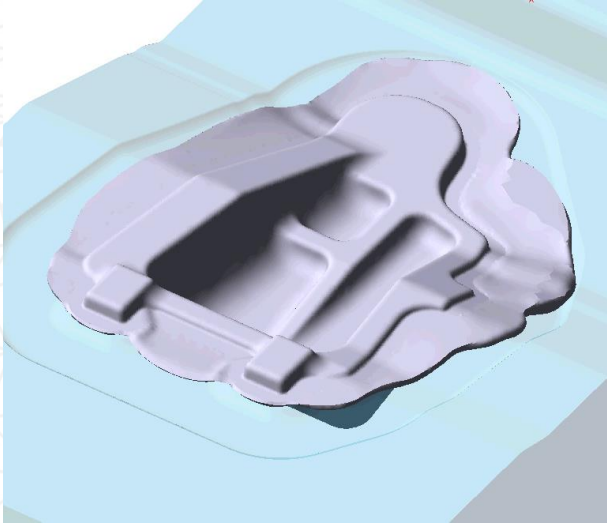
- Открытая и закрытая штамповка, ковка
- Сортовая прокатка
- Винтовая прокатка, торцевая раскатка
- Раскатка колец
- Горячая, теплая и холодная штамповка
- Вальцовка и заготовительные операции
- Прессование алюминиевых профилей
- Термообработка и микроструктура

➤ Для предприятий отраслей:

- Прокатное производство
- Автомобильного и транспортного машиностроения
- Авиа и космического машиностроения
- Энергомашиностроения
- Судостроение
- Метизная промышленность
- Производители штамповой оснастки
- Прессование алюминиевых профилей



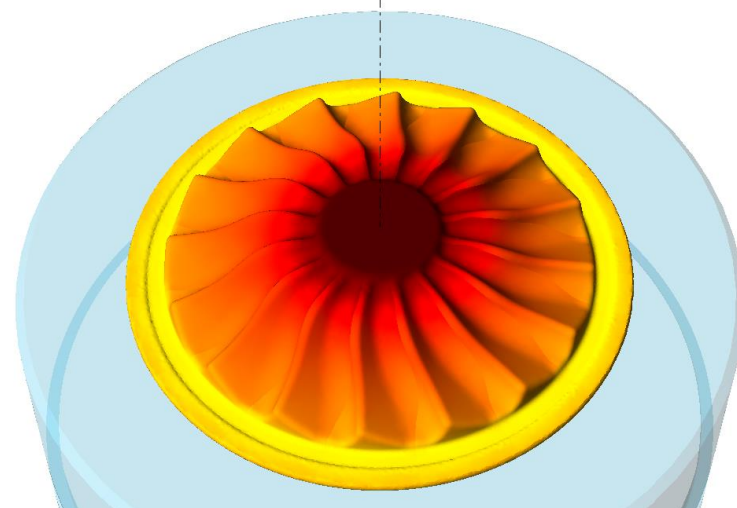
Типичные авиационные поковки из легких и жаропрочных сплавов



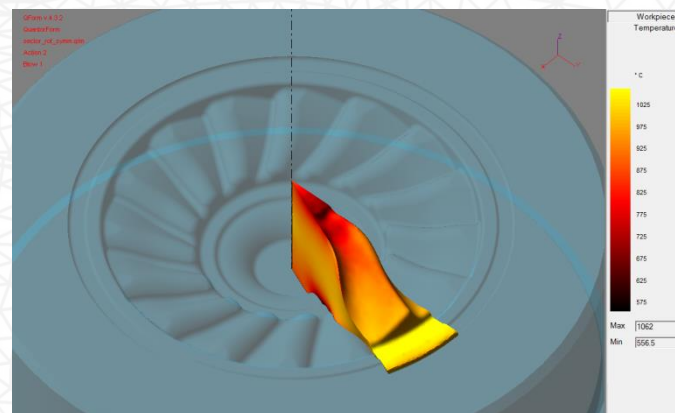
Объемная штамповка: пример для авиационного машиностроения

Штамповка профилированных дисков для изготовления цельных деталей типа вентилятор (с разрешения McWilliams Forge, USA)

Экономия металла и лучшая проработка структуры:



Ротационная симметрия сокращает время расчета таких задач в 12-20 раз

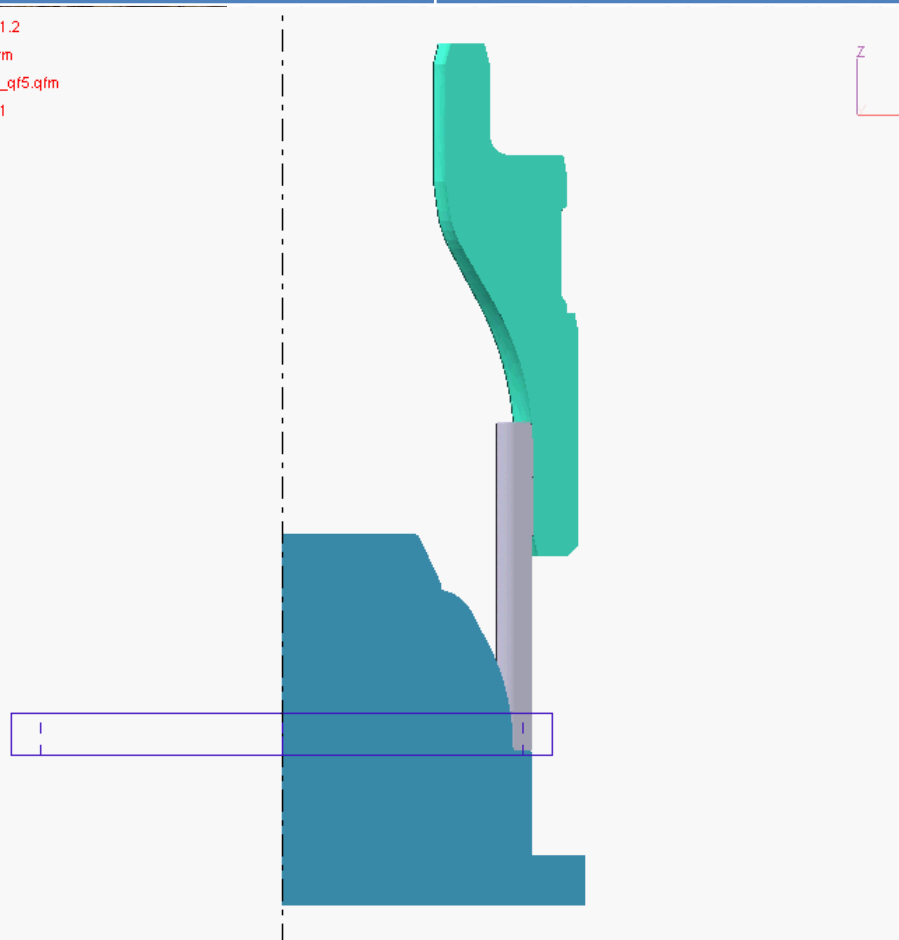


Объемная штамповка крупных изделий: Ду 1400



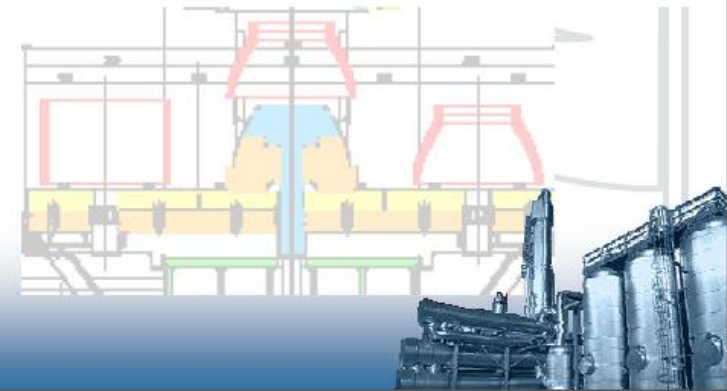
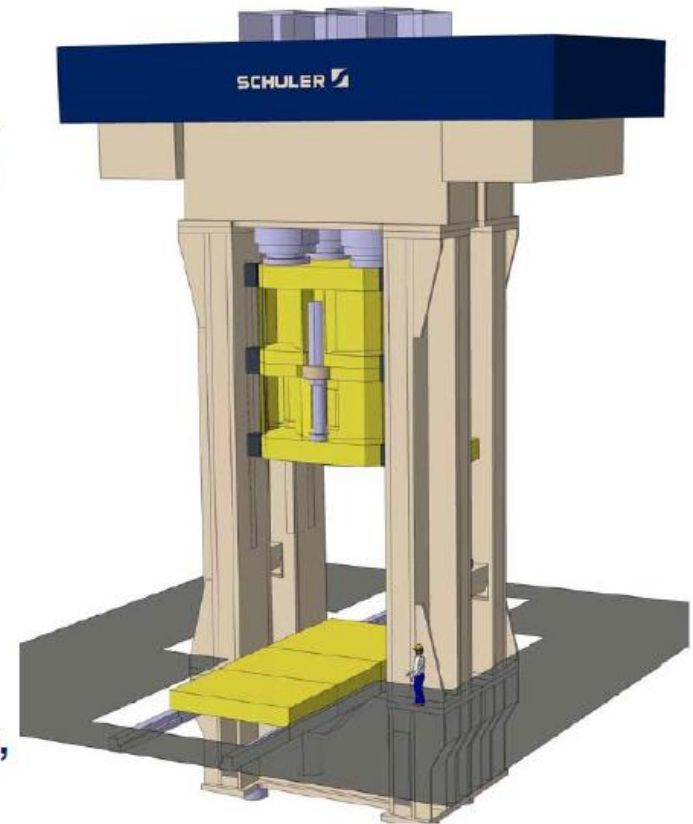
Пресс: SCHULLER	Гидравлический пресс 140 МН
Номинальная скорость:	50 мм/сек
Тип привода:	Индивидуальный
Изделие:	7,5 тонны, 09Г2С, 1150 °С

QForm v.5.1.2
QuantorForm
polukorpus_qf5.qfm
Операция 1



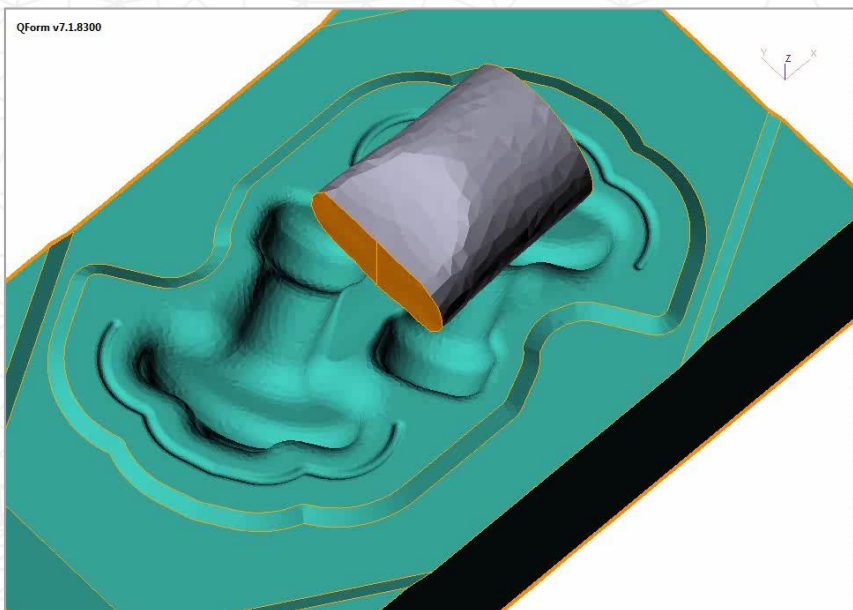
С разрешения
ЗАО НПО «Тяжпромарматура»

- ❑ Ключевое звено технологического процесса - уникальный гидравлический пресс двойного действия развивающий усилие 14 000 тонн
- ❑ Пресс сочетает в себе технологические возможности горячей штамповки и свободнойковки металла
- ❑ Производитель прессы - один из мировых лидеров в производстве тяжелых прессов - компания SCHULER, Германия
- ❑ Общая высота прессы составляет более 30 м, а масса - 4 000 тонн
- ❑ Предназначен для выполнения широкой серии операций штамповки иковки, в том числе – в 3 перехода с одного нагрева

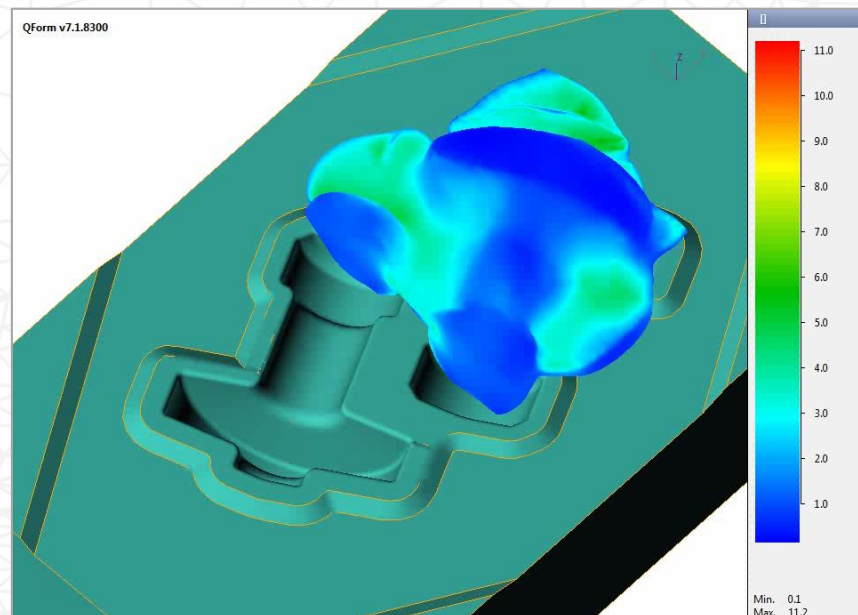


Объемная штамповка: пример из автомобилестроения

Отображение зон контакта:



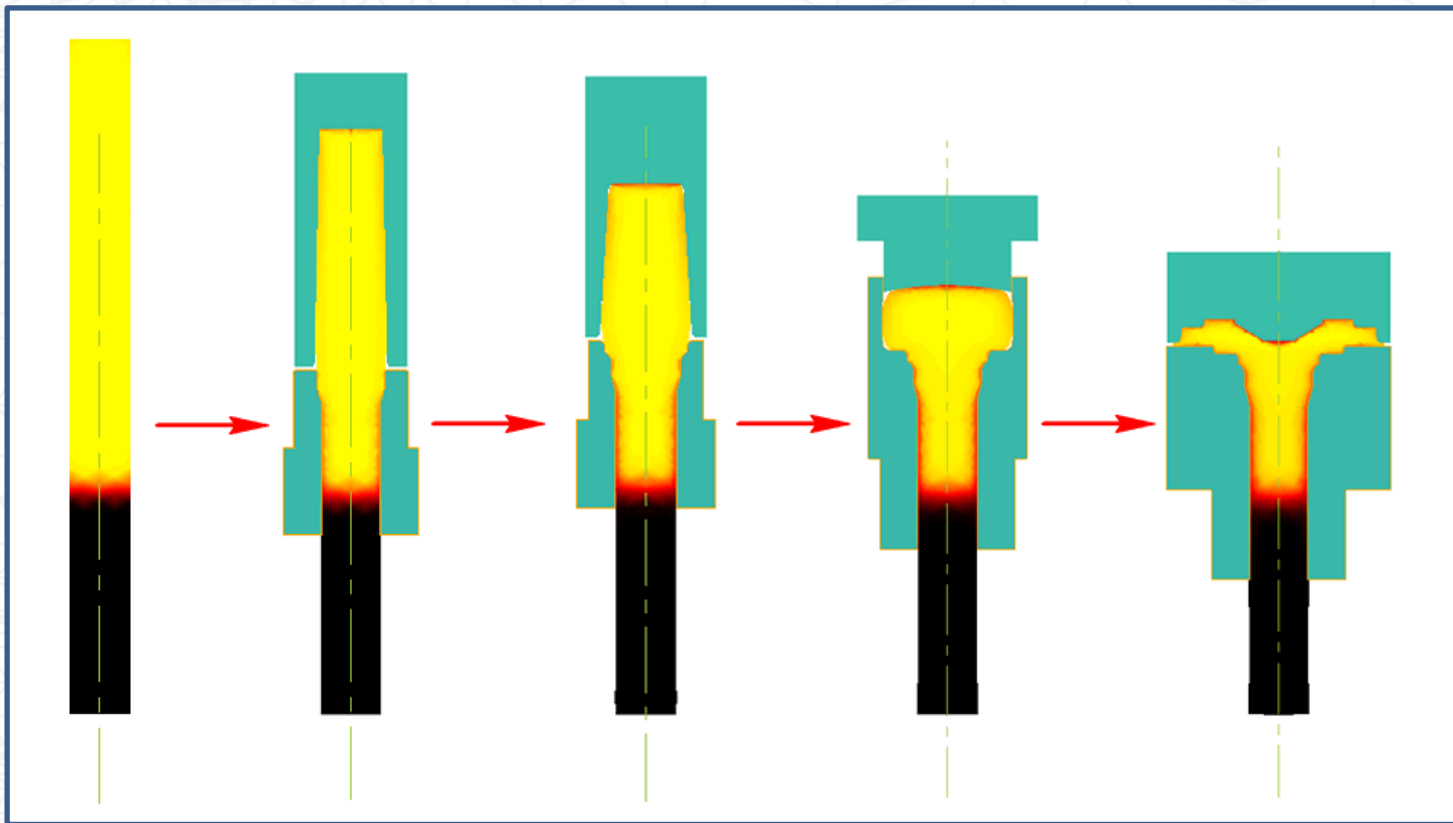
Распределение пластической деформации:



С разрешения
ООО «УАЗ Металлургия»,
Ульяновск



Объемная штамповка на ГКМ



С разрешения
ОАО «ЧКПЗ»



ЧЕЛЯБИНСКИЙ
КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВЫЙ
ЗАВОД

Объемная штамповка: подпружиненный инструмент

2D-осесимметричное моделирование:

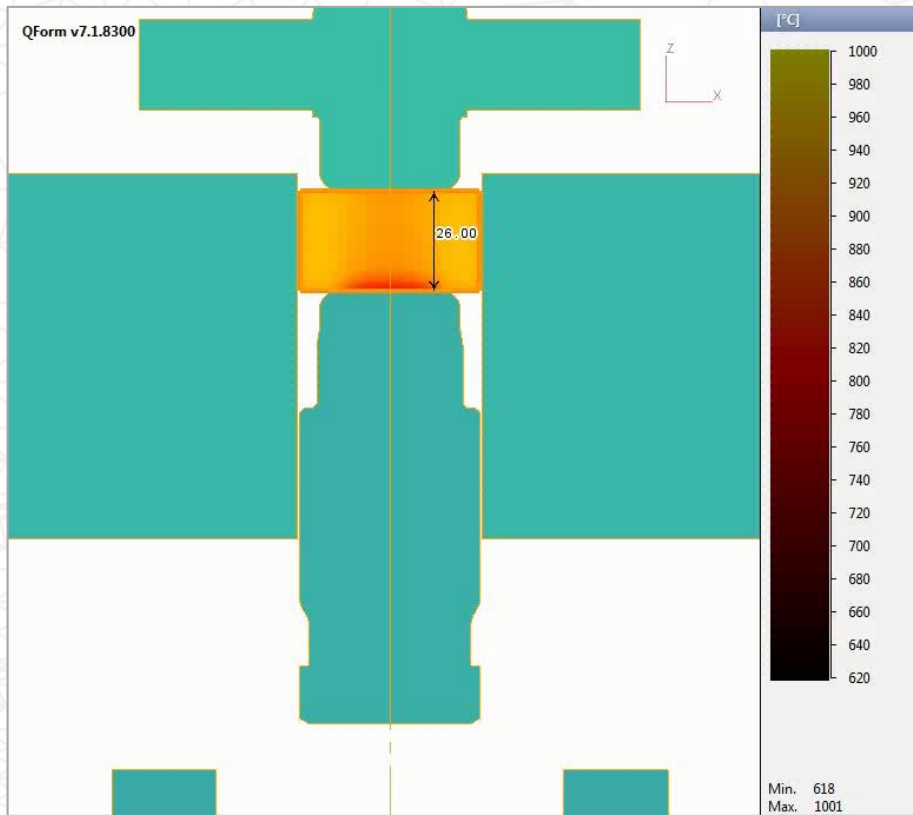
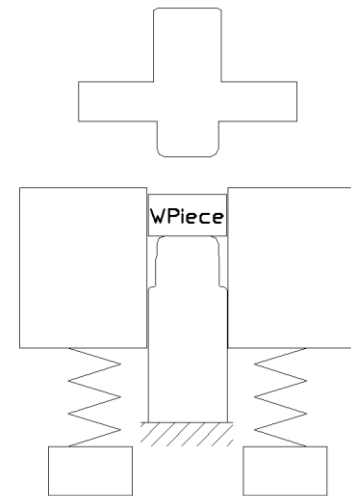
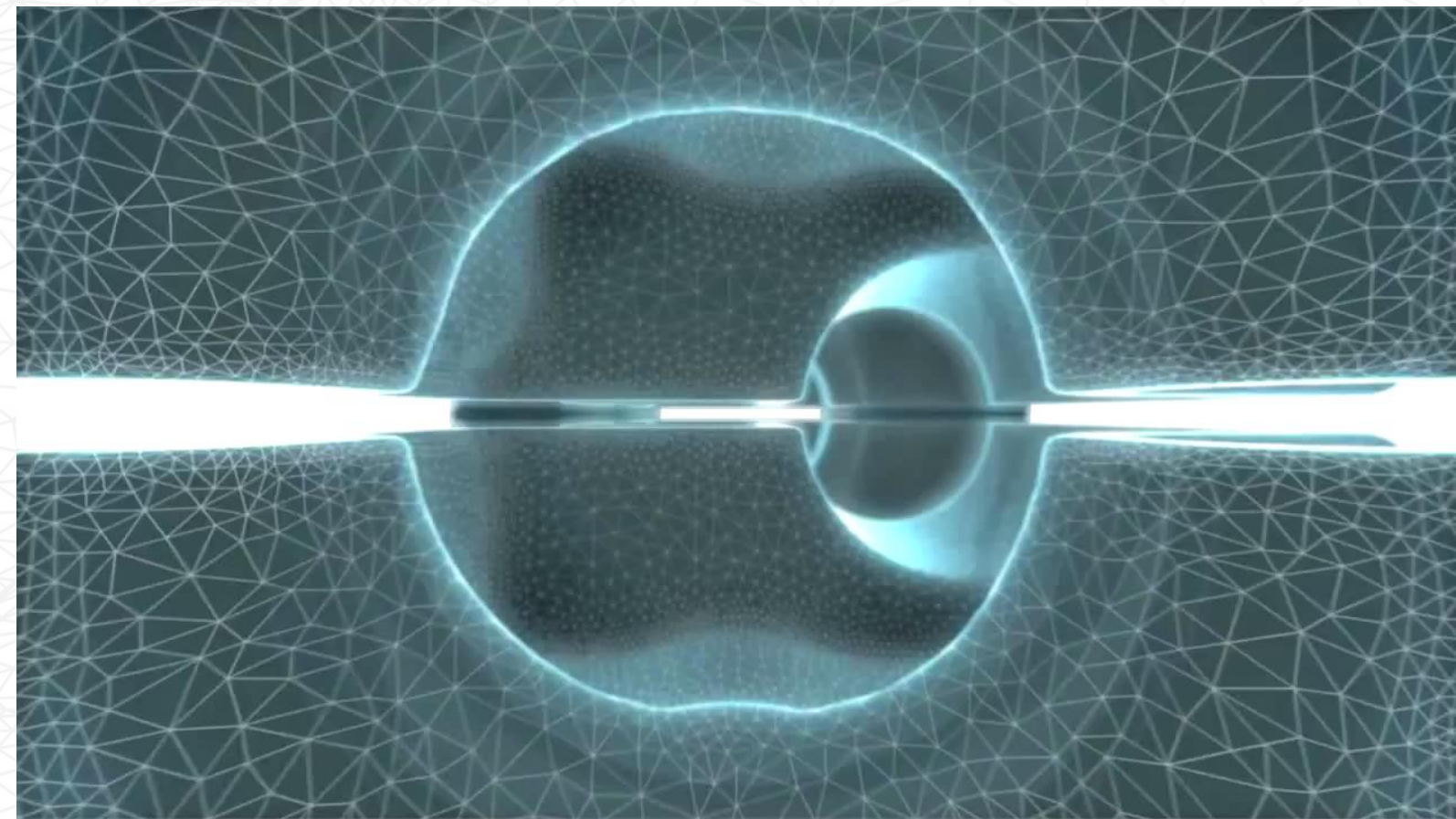


Схема процесса:

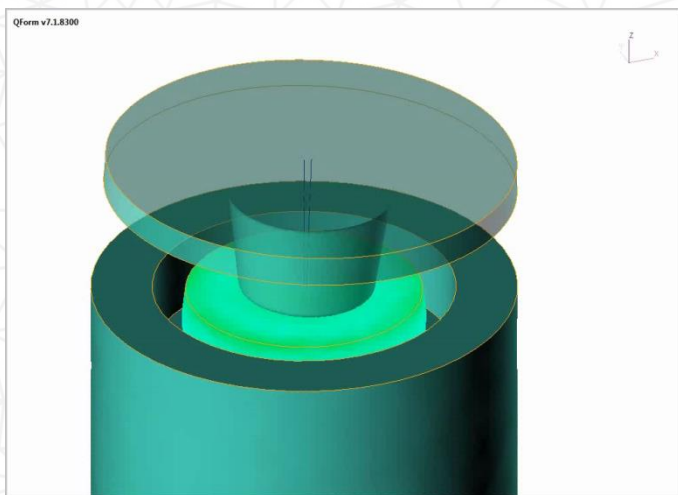


Поперечно-клиновая прокатка

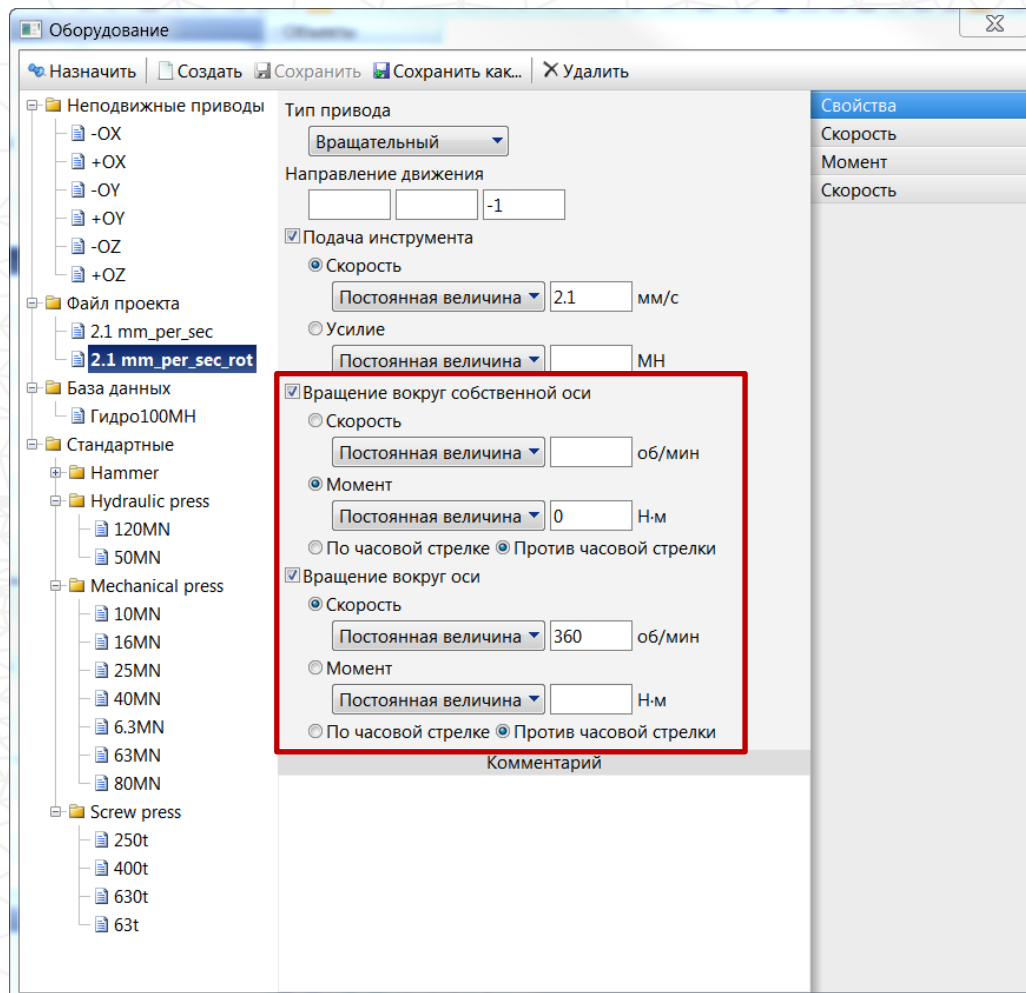


Орбитальная штамповка

Инструмент с двумя осями:



Параметры привода:



Оборудование

Назначить | Создать | Сохранить | Сохранить как... | Удалить

- Неподвижные приводы
 - OX
 - +OX
 - OY
 - +OY
 - OZ
 - +OZ
- Файл проекта
 - 2.1 mm_per_sec
 - 2.1 mm_per_sec_rot
- База данных
 - Гидро100МН
- Стандартные
 - Hammer
 - Hydraulic press
 - 120MN
 - 50MN
 - Mechanical press
 - 10MN
 - 16MN
 - 25MN
 - 40MN
 - 6.3MN
 - 63MN
 - 80MN
 - Screw press
 - 250t
 - 400t
 - 630t
 - 63t

Тип привода: Вращательный

Направление движения: -1

Подача инструмента

- Скорость: Постоянная величина 2.1 мм/с
- Усилие: Постоянная величина МН

Вращение вокруг собственной оси

- Скорость: Постоянная величина об/мин
- Момент: Постоянная величина 0 Н·м

По часовой стрелке Против часовой стрелки

Вращение вокруг оси

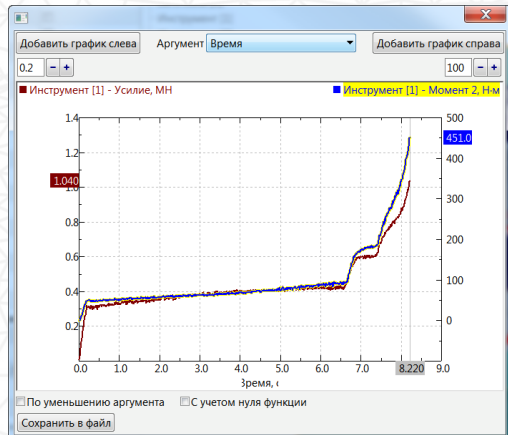
- Скорость: Постоянная величина 360 об/мин
- Момент: Постоянная величина Н·м

По часовой стрелке Против часовой стрелки

Комментарий

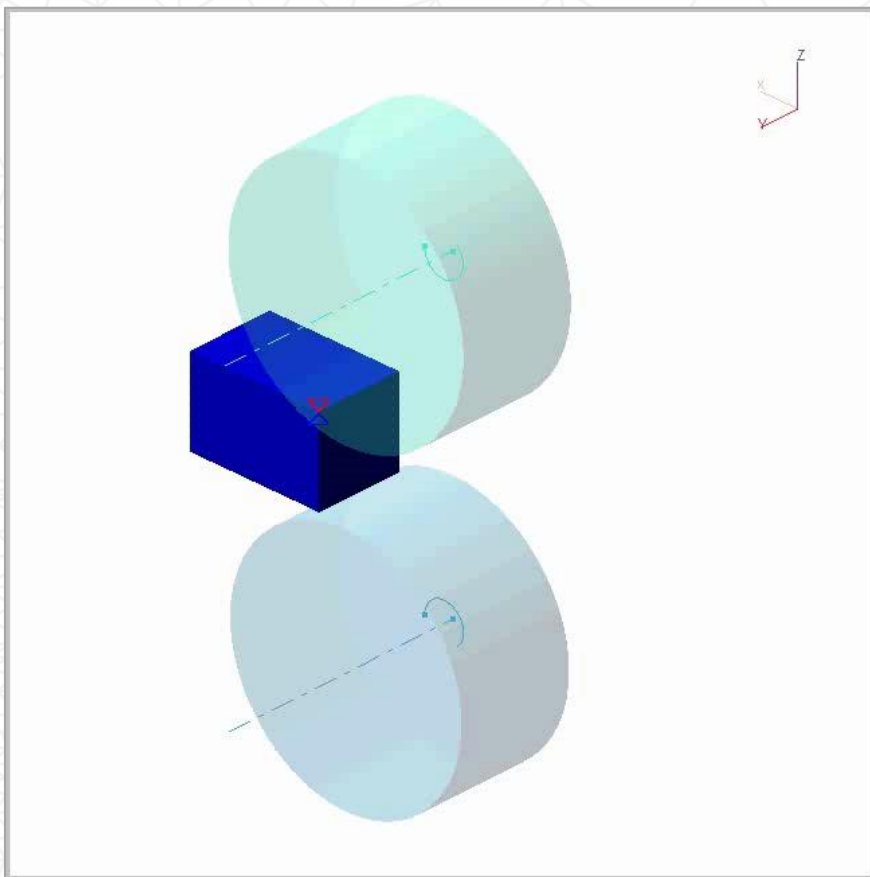
Свойства
Скорость
Момент
Скорость

Графики силы и момента:

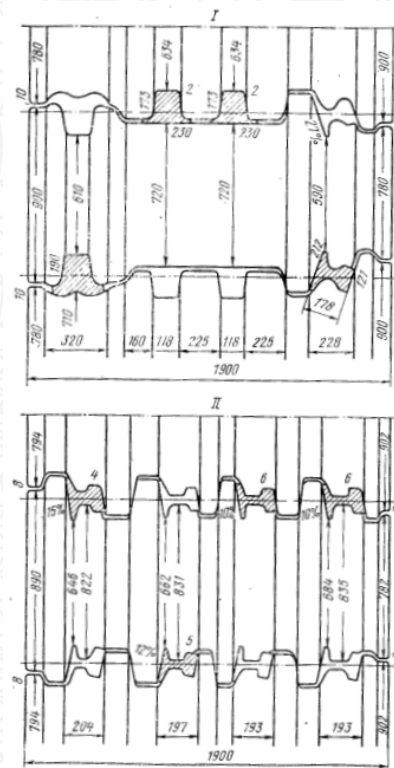


Продольная прокатка

3D-моделирование прокатки рельсов:

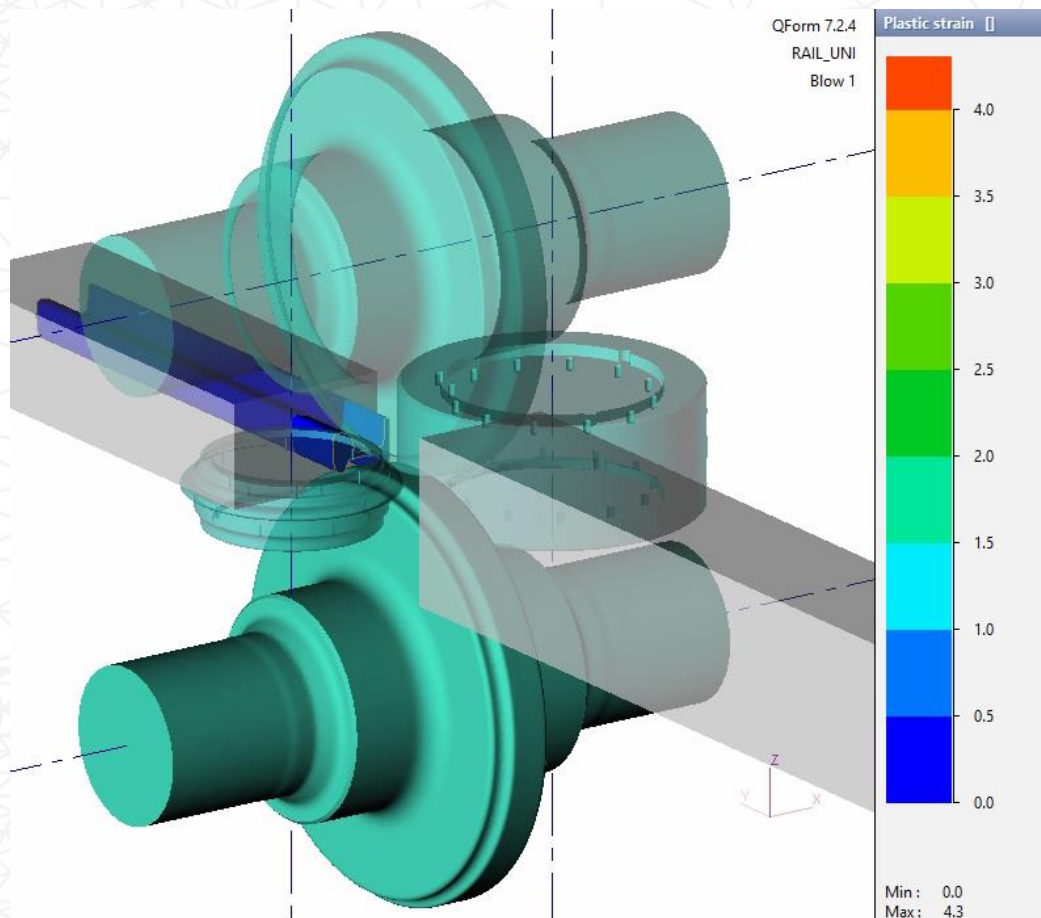


Калибровка валков первой и второй клетки стана «800» для продольной прокатки рельсов «Р-65»:



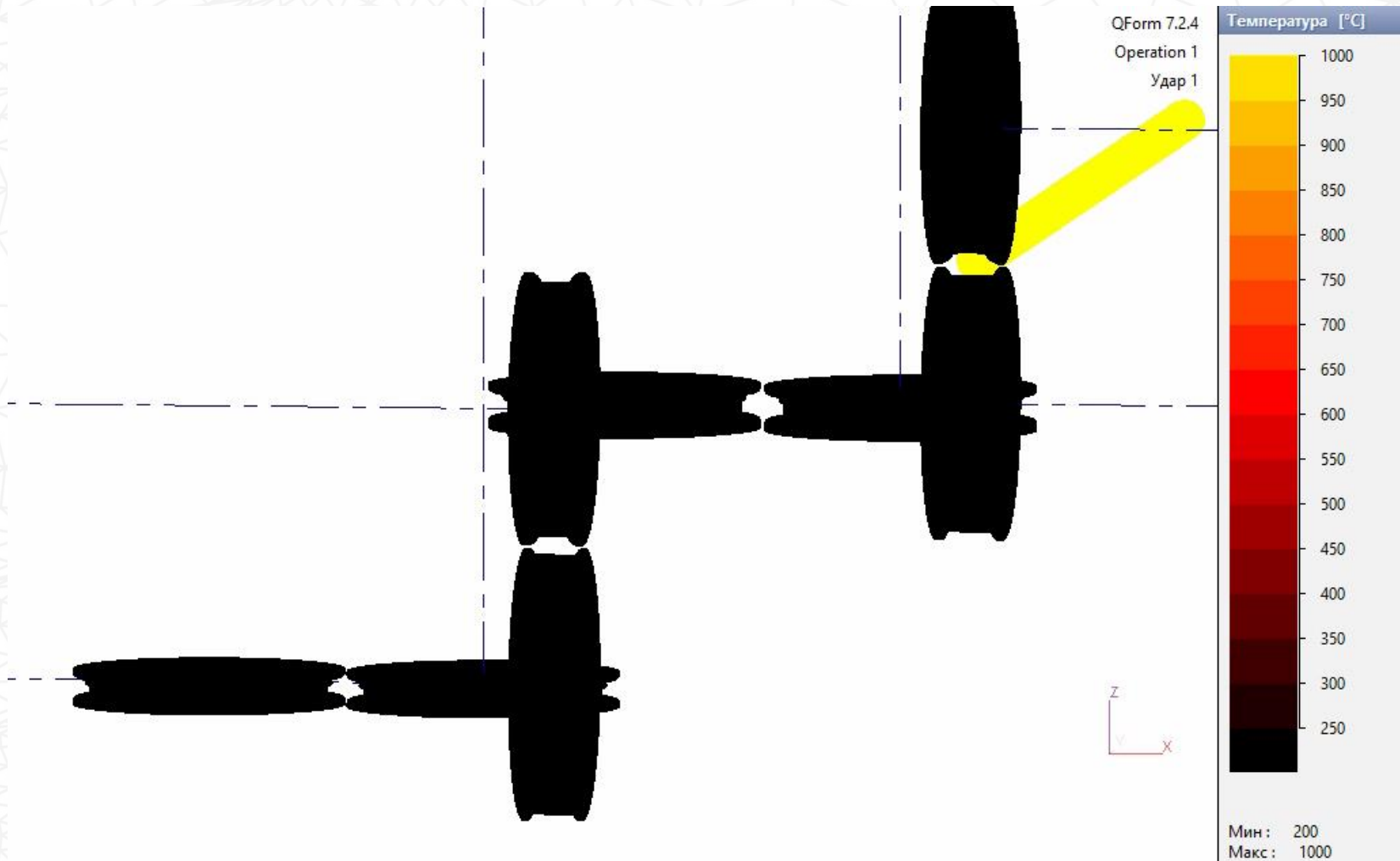
Источник: Б.Б. Диомидов, Н.В. Литовченко
“Технология прокатного производства”, 1979

Продольная прокатка



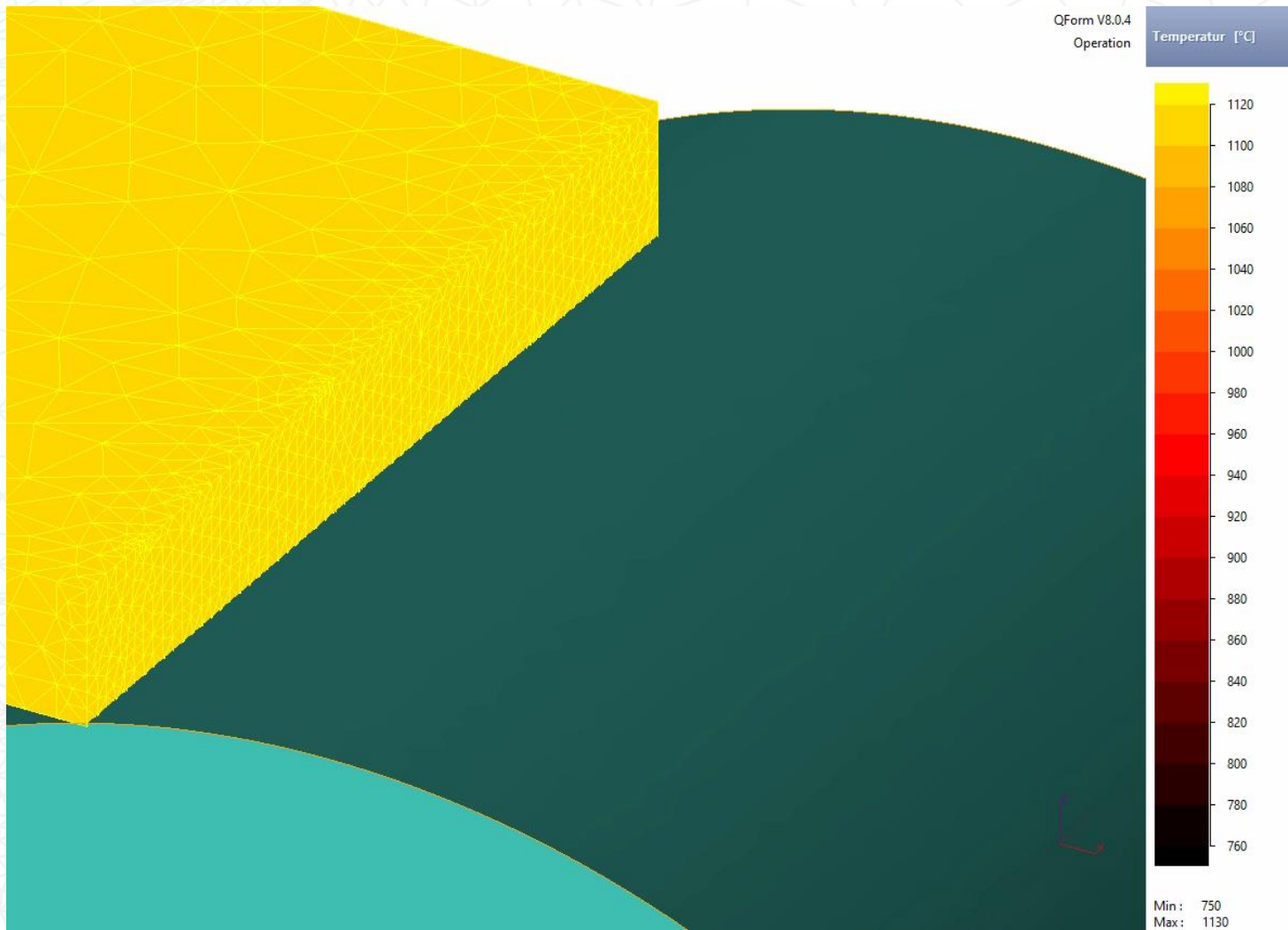
Клеть прокатки рельс со свободно вращающимися боковыми валками

Продольная прокатка



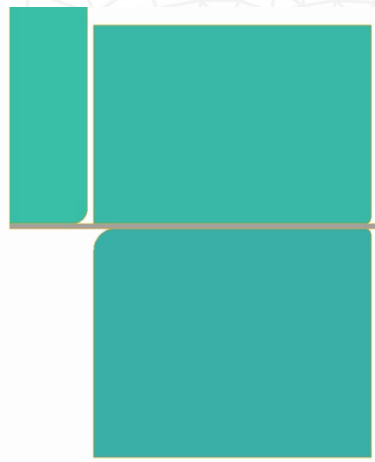
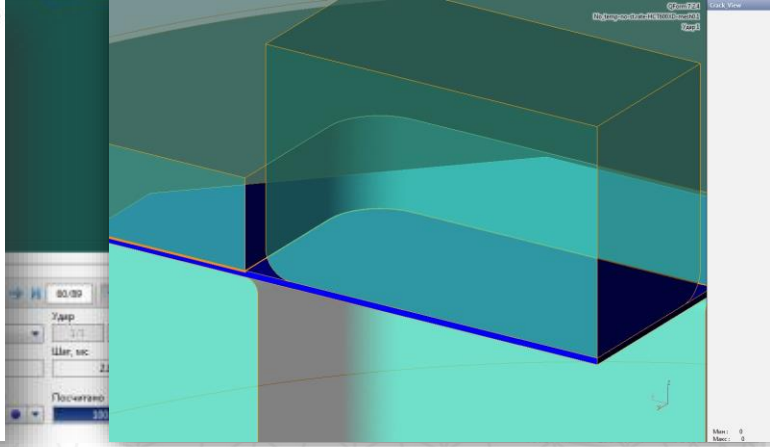
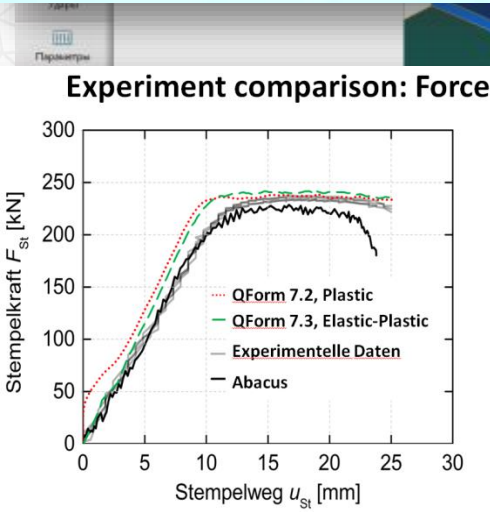
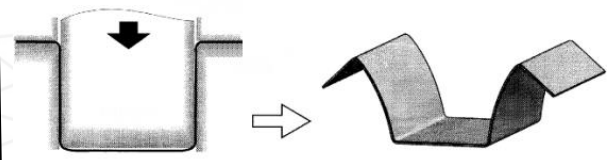
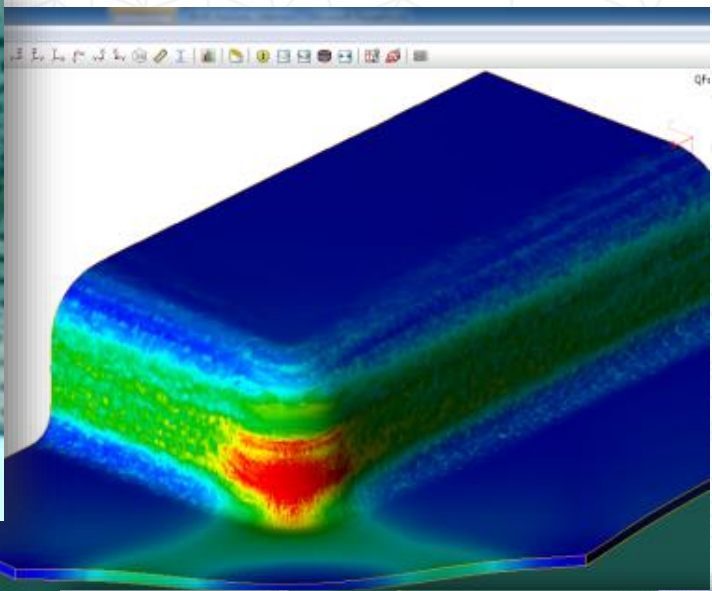
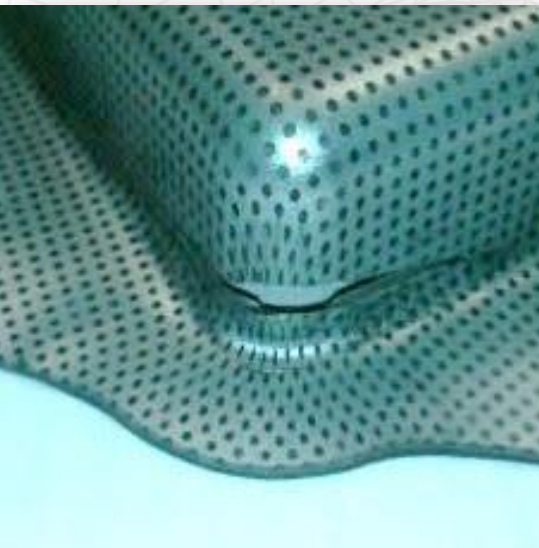
Разогрев валков в процессе прокатки

Продольная прокатка



Изменение температуры листа при прокатке

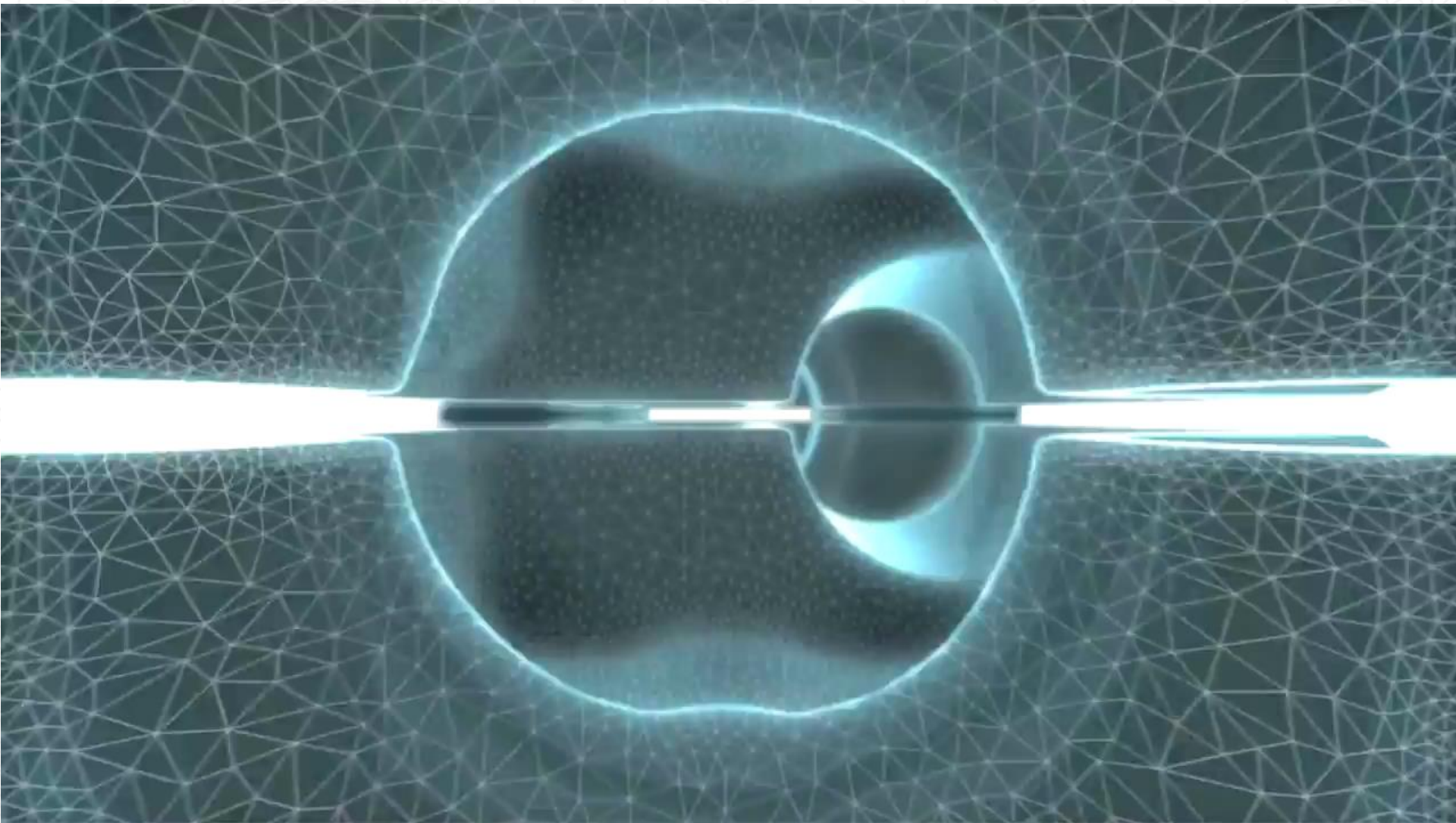
Исследование операций листовой штамповки: критерий разрушения Вержбицкого, пружинение



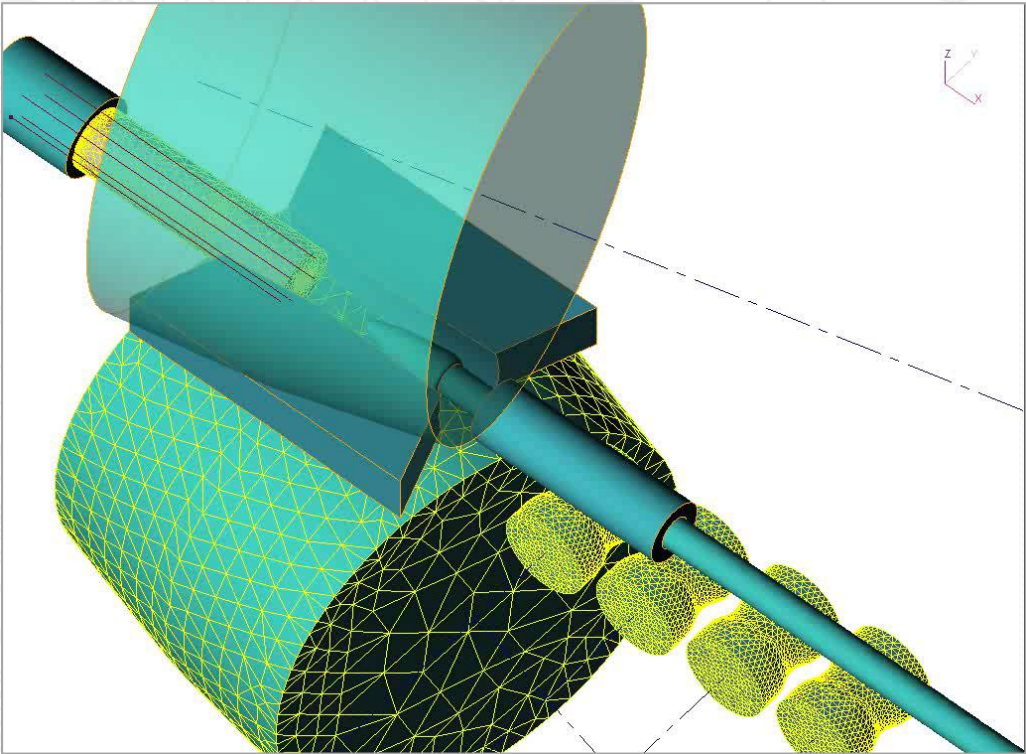
NUMISHEET 2011

С разрешения IFUM, Ганноверский Университет им. Лейбница, Германия

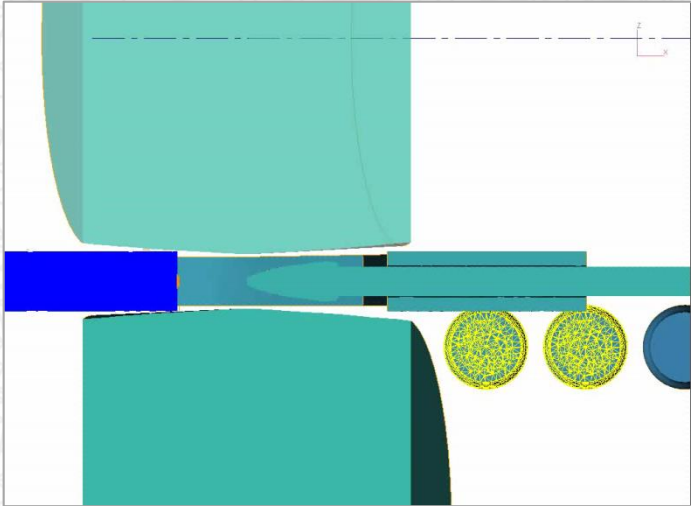
Холодная штамповка



Винтовая прокатка труб



Распределение пластической деформации в продольном сечении:



С разрешения компании «ОМК»,
Выксунский Metallургический Завод

Раскатка колец: геометрия и схема процесса

The screenshot displays the QUANTORFORM software interface for a ring rolling process. The left sidebar contains various tool categories: **Операции** (Operations), **Процесс** (Process), **Геометрия** (Geometry), **Параметры заготовки** (Blank parameters), **Параметры инструмента** (Tool parameters), **Параметры процесса** (Process parameters), **Условия остановки** (Stop conditions), **Граничные условия** (Boundary conditions), **Удары** (Impacts), **Параметры расчета** (Calculation parameters), and **Трассируемые точки, линии** (Traceable points, lines).

The **Геометрия** (Geometry) panel shows the following objects and their actions:

Объекты	Действие
Главный валок 1 [0]	
Заготовка [1]	Action_RR
Оправка 2 [2]	Action_RR
Центрирующий валок 5 [3]	Action_RR
Центрирующий валок 6 [4]	Action_RR
Аксиальный валок 4 [5]	Action_RR
Аксиальный валок 3 [6]	Action_RR

The **Свойства** (Properties) panel shows the object type selection:

Преобразовать...

Тип объекта

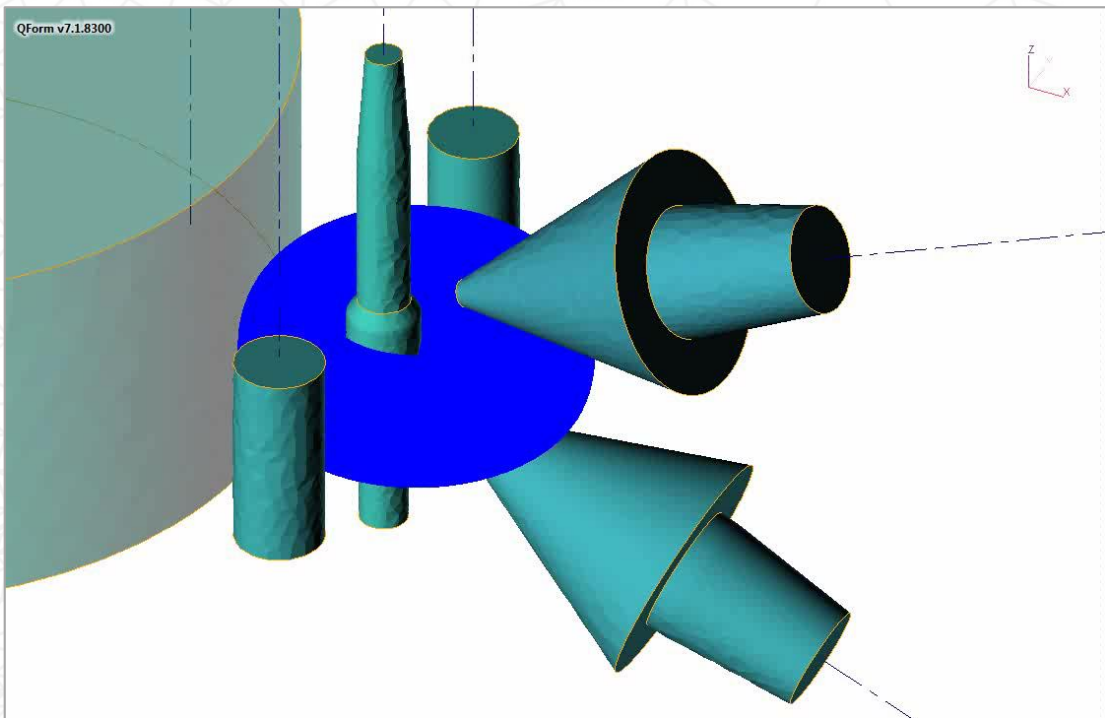
- Заготовка
- Инструмент
- Главный валок
- Оправка
- Аксиальный валок
- Центрирующий валок
- Основание
- Эджер
- Прижимной валок

The **Объекты** (Objects) panel lists the objects in the scene:

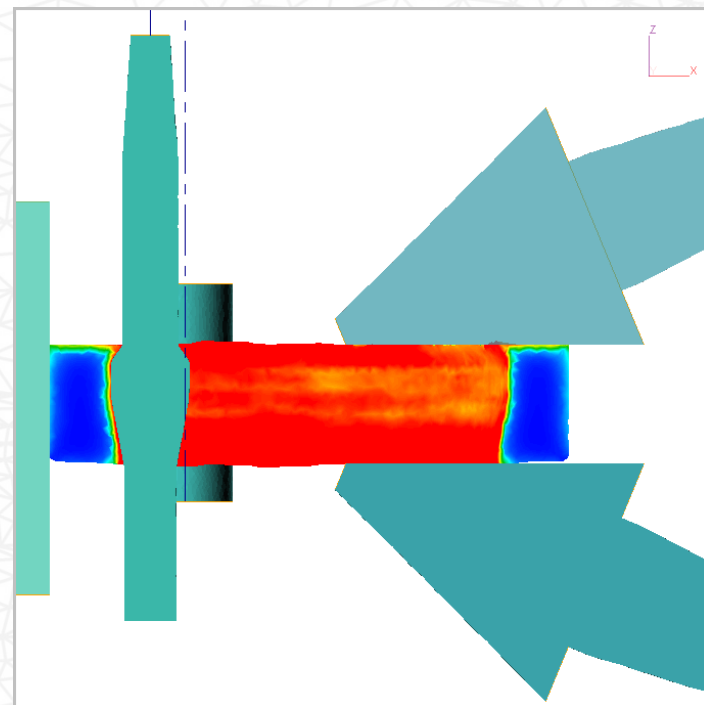
- Главный валок 1 [0]
- Заготовка [1]
- Оправка 2 [2]
- Центрирующий валок 5 [3]
- Центрирующий валок 6 [4]
- Аксиальный валок 4 [5]
- Аксиальный валок 3 [6]

The 3D model shows the main shaft (**Главный валок**), the blank (**Заготовка**), the mandrel (**Оправка**), and the centering rollers (**Центрирующий валок**) and axial rollers (**Аксиальный валок**). The labels in the image are: **Главный валок**, **Центрирующий валок**, **Аксиальный валок**, and **Оправка**.

Моделирование раскатки колец



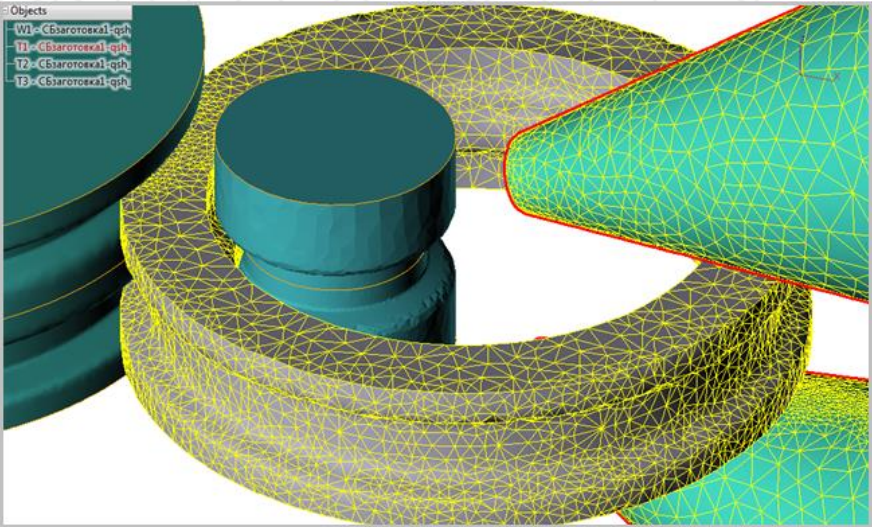
Пластическая деформация в разрезе:



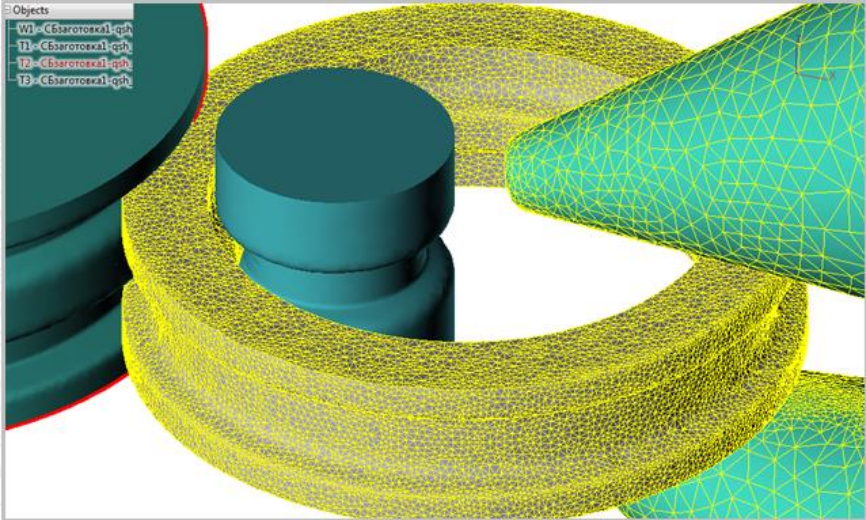
Время моделирования: около 30 часов

Использование двойной сетки для моделирования

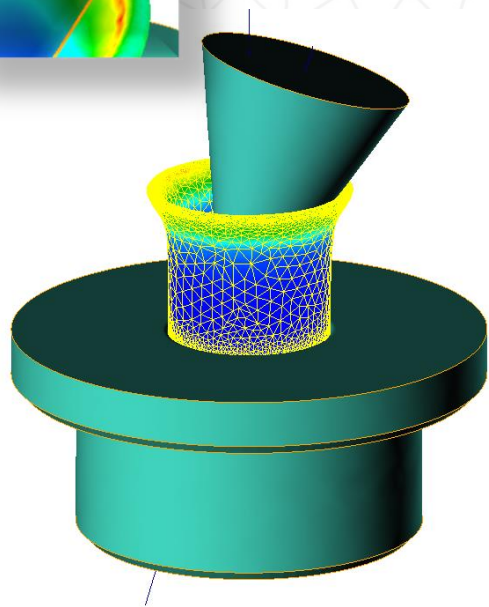
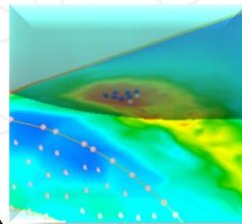
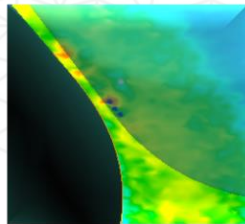
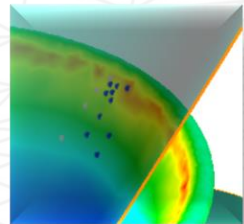
Расчетная сетка:



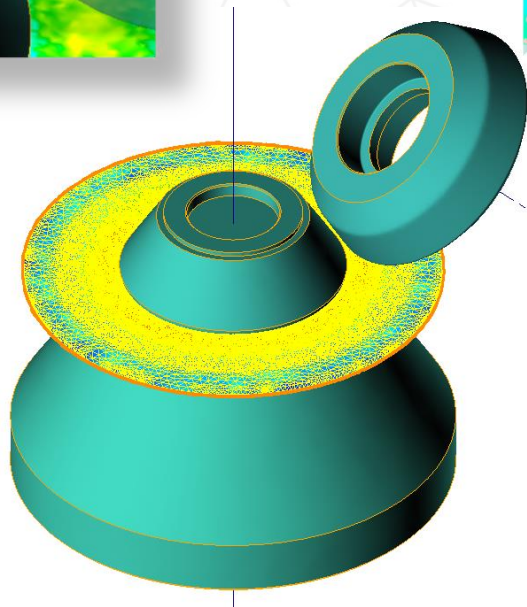
Геометрическая сетка:



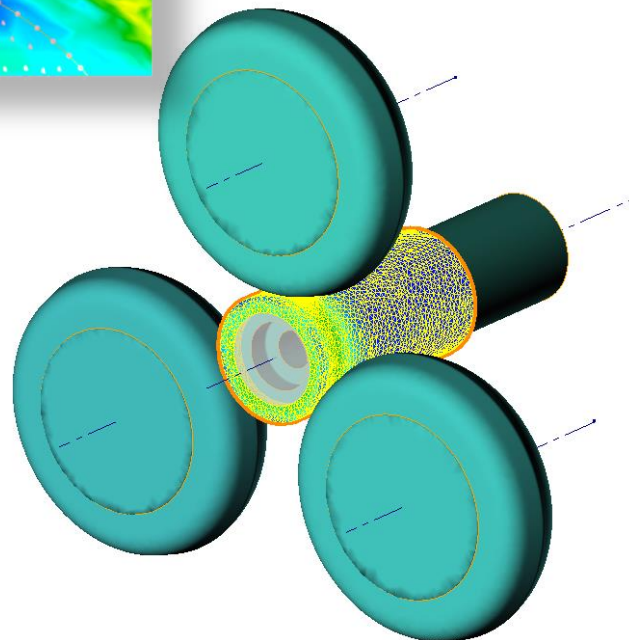
Анализ инкрементальных процессов и ротационной штамповки в QForm V8



Rotary Forging



Shear Forming



Flow Forming

Гидроштамповка

3D-моделирование гидроштамповки крестовины:

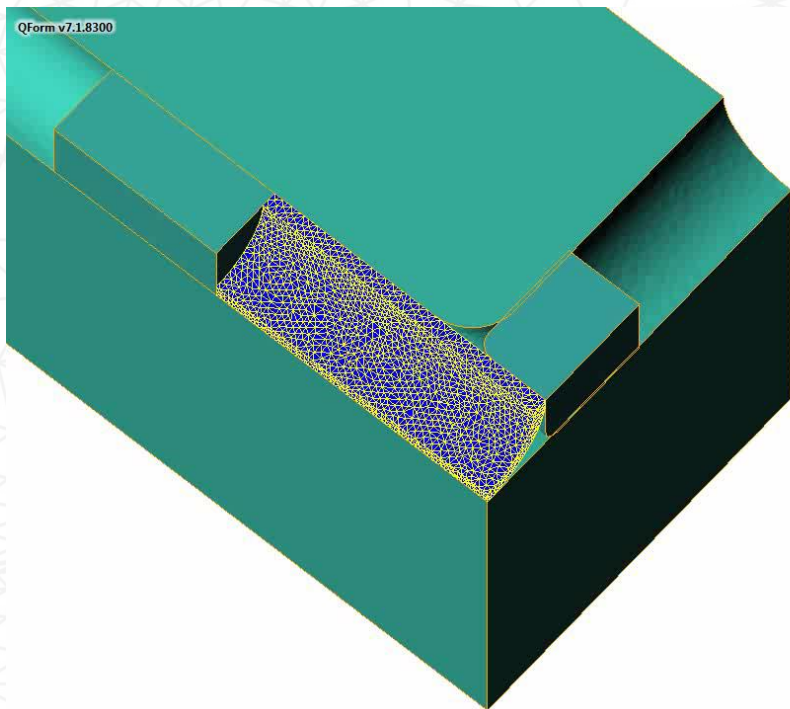
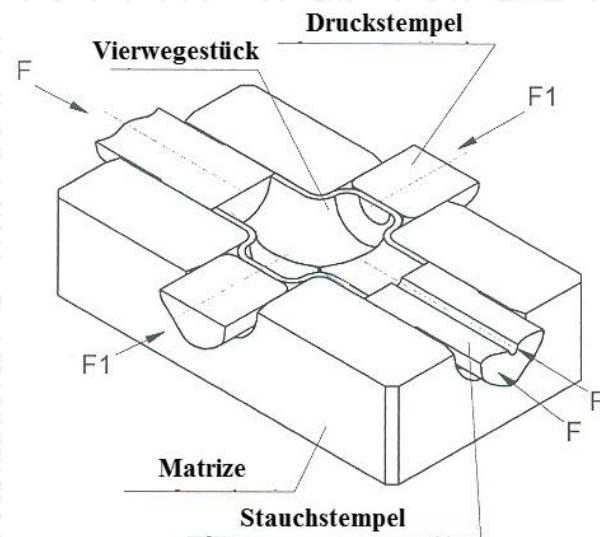
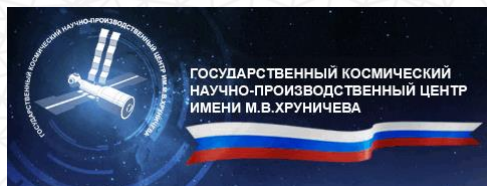


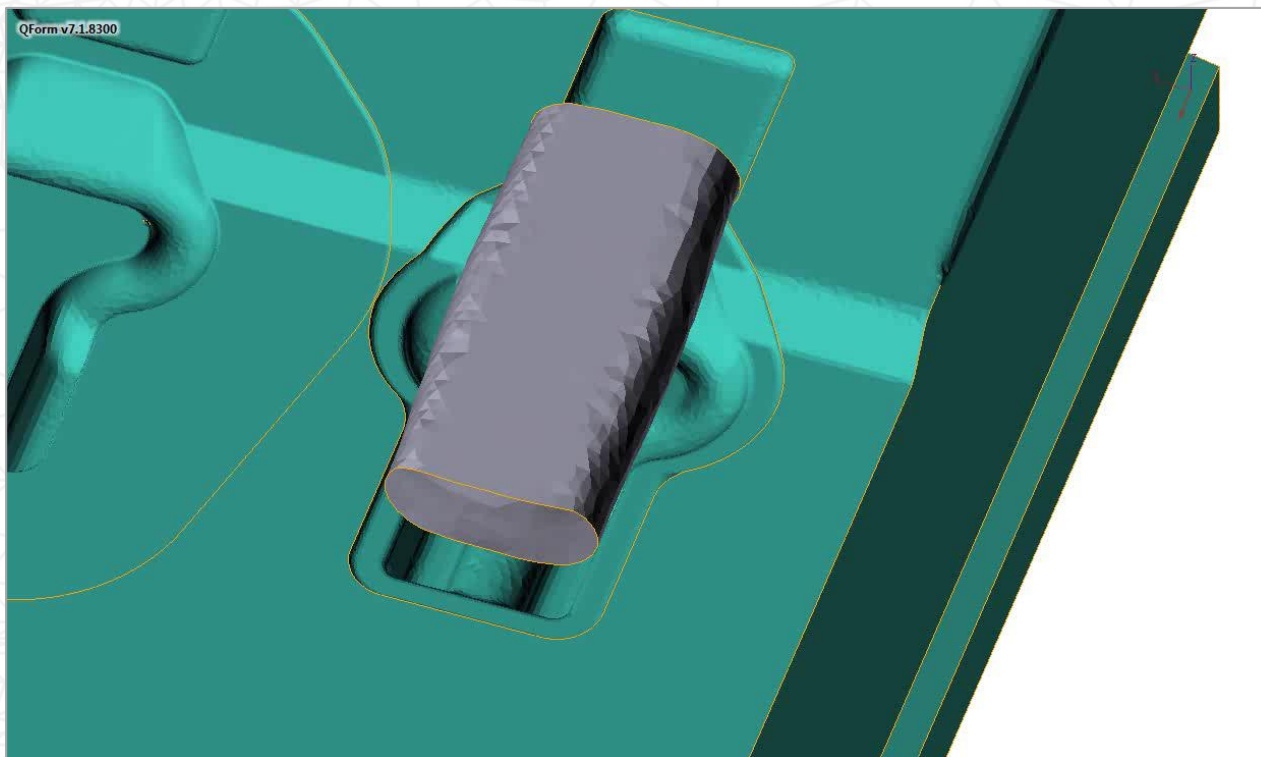
Схема процесса:



С разрешения конструкторского бюро «КБ Арматура», г. Ковров филиал ФГУП «ГКНПЦ имени М.В. Хруничева»



Объемная штамповка: износ инструмента

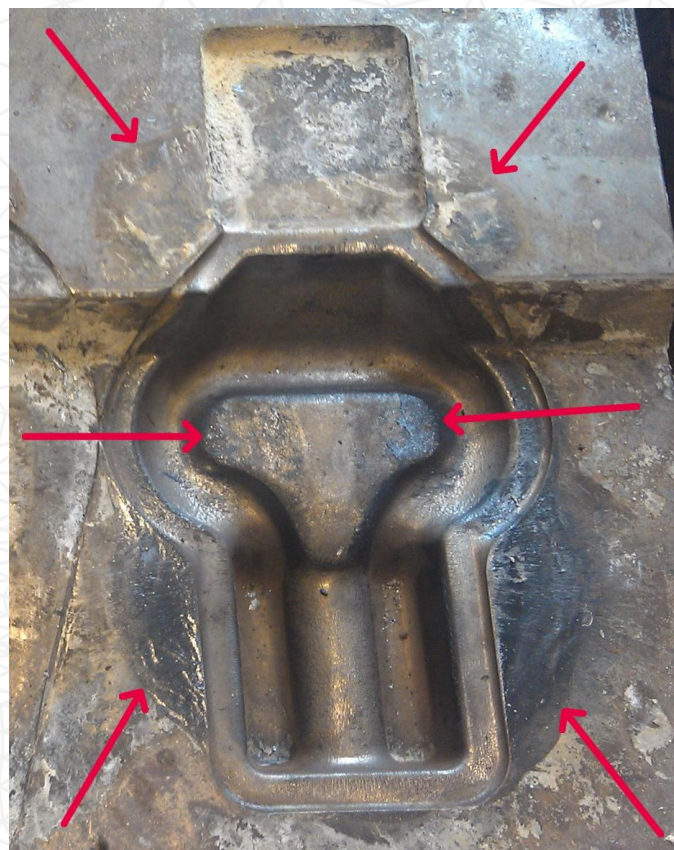
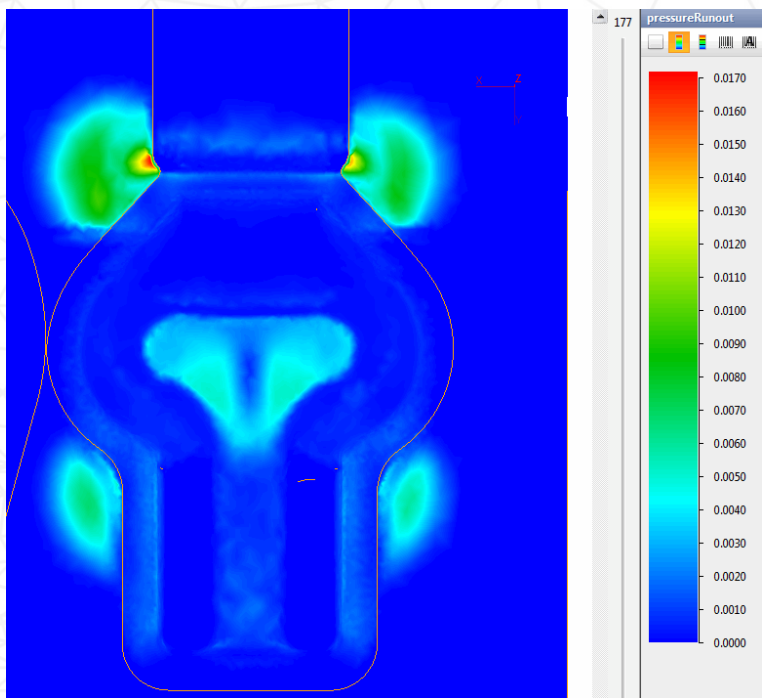


С разрешения
ОАО «Красный якорь»,
Нижний Новгород



Объемная штамповка: износ инструмента

Распределение износа от давления:



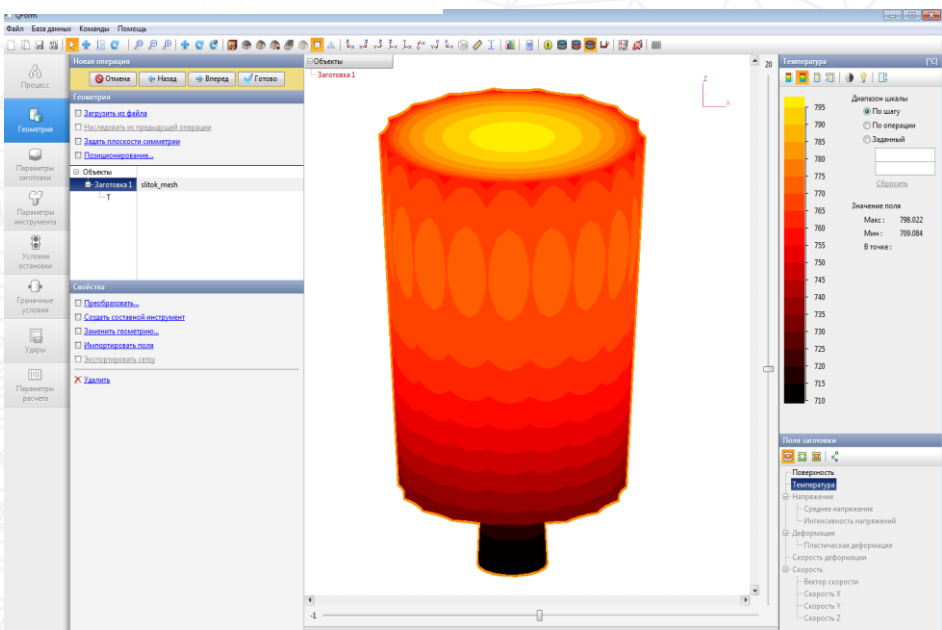
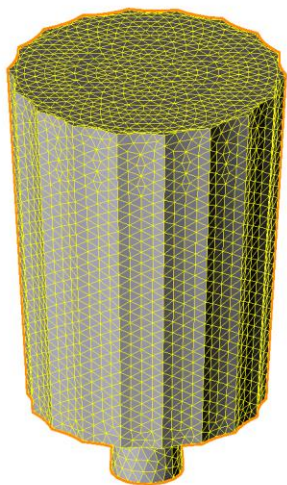
С разрешения
ОАО «Красный якорь», Нижний
Новгород



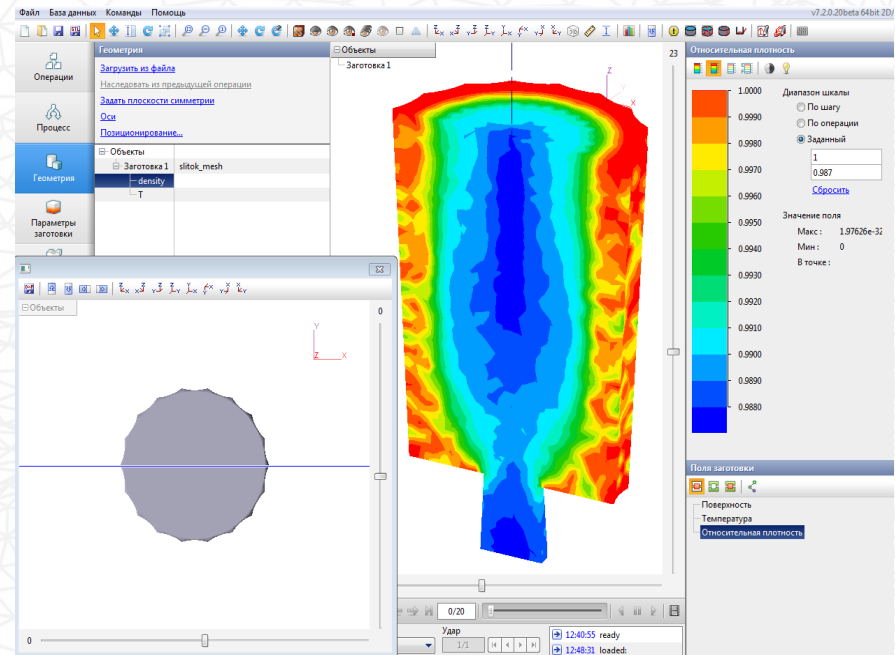
ESI – наш партнер по разработке сопрягаемых систем моделирования

Конечно-элементная модель отливки импортированная из ProCAST

Импорт из ProCAST



Импортированное поле температур

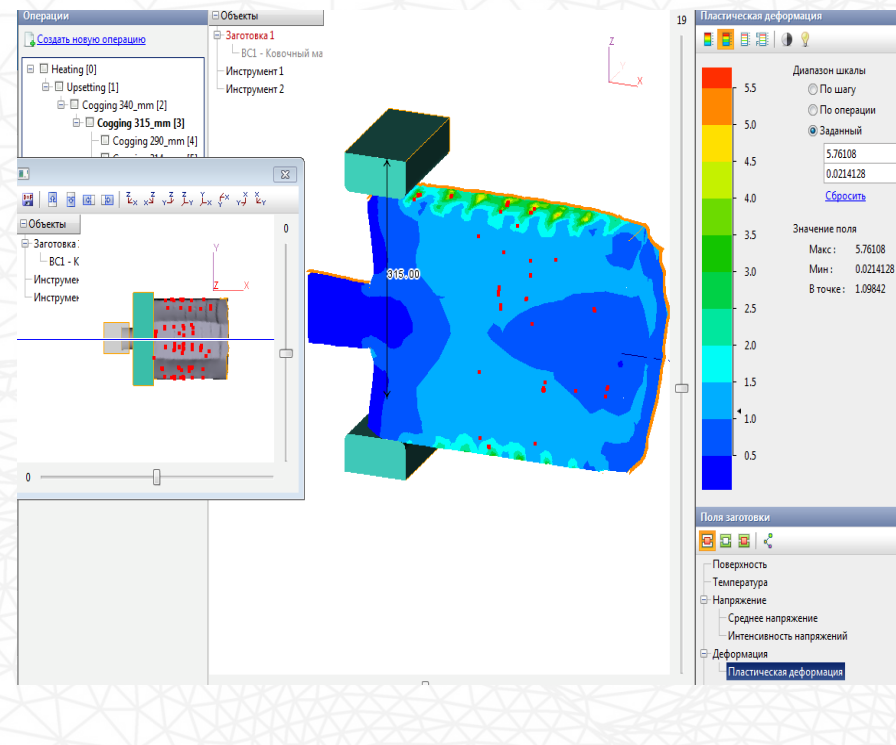
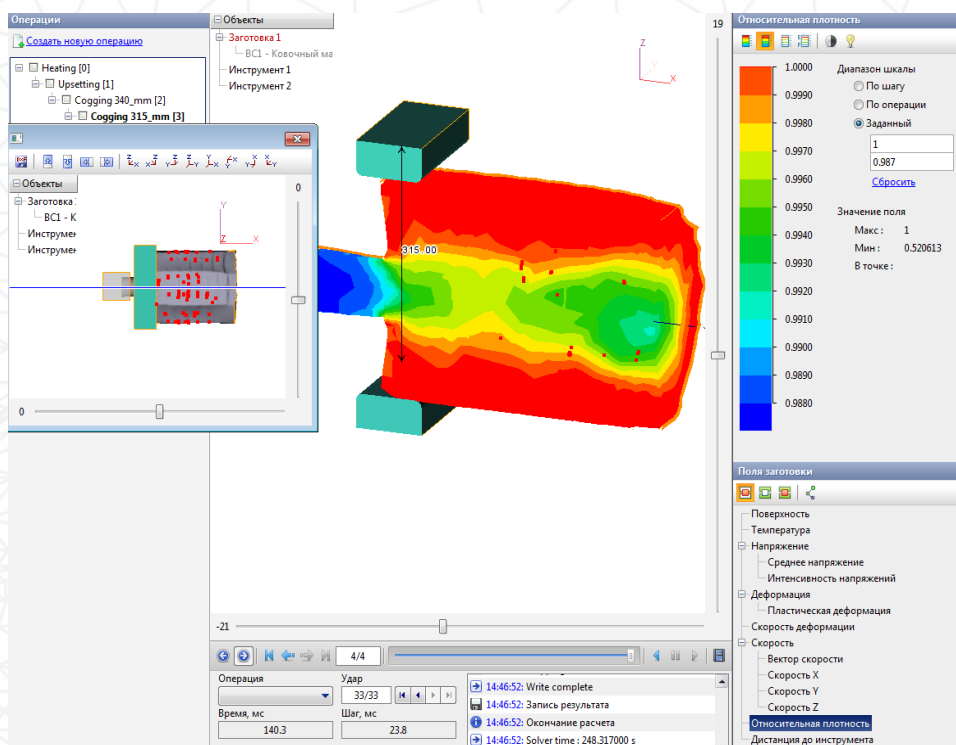


Импортированное поле пористости (диапазон 1-0,987)

Результаты моделирования в QForm

Относительная плотность по сечению
слитка в конце операции протяжки

Поле пластических деформаций по сечению
слитка в конце операции протяжки



Раскатка на оправке

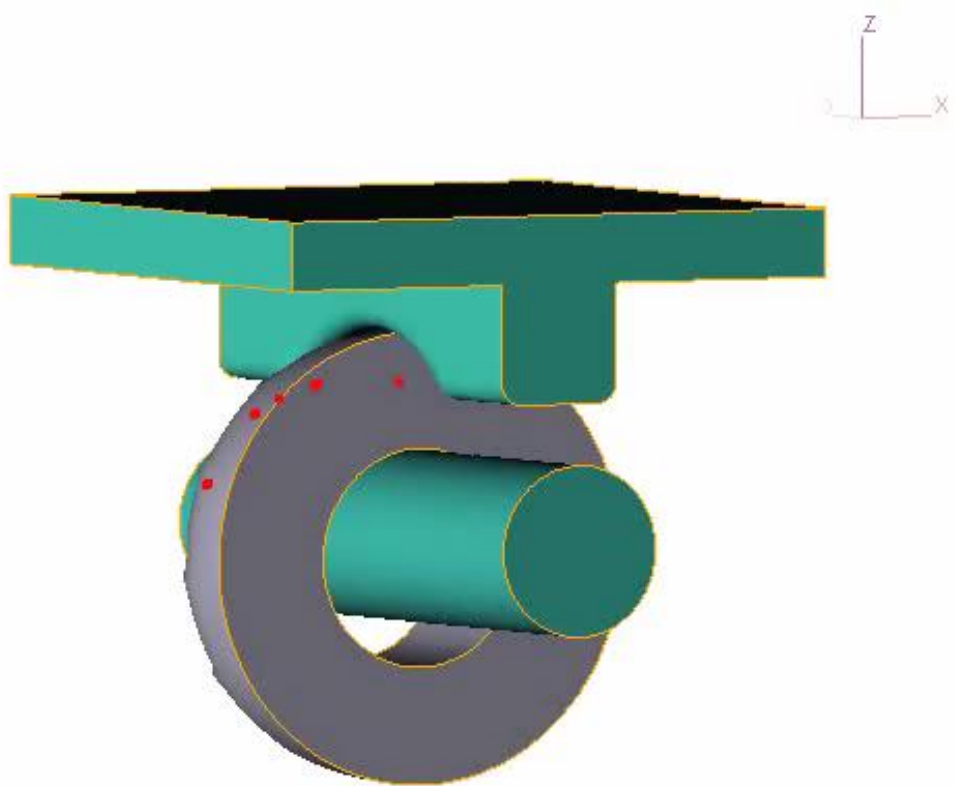
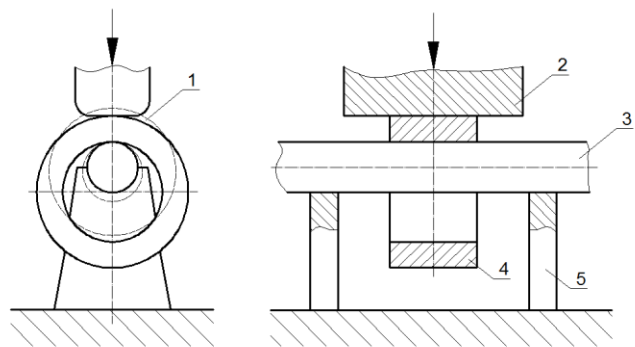


Схема процесса:



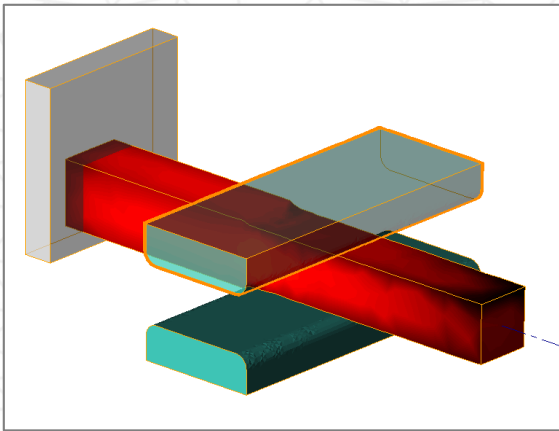
1 – заготовка, 2 – сферический боек,
3 – оправка, 4 – раскатанное кольцо, 5 – держатель

Настройки в «Параметрах инструмента»:

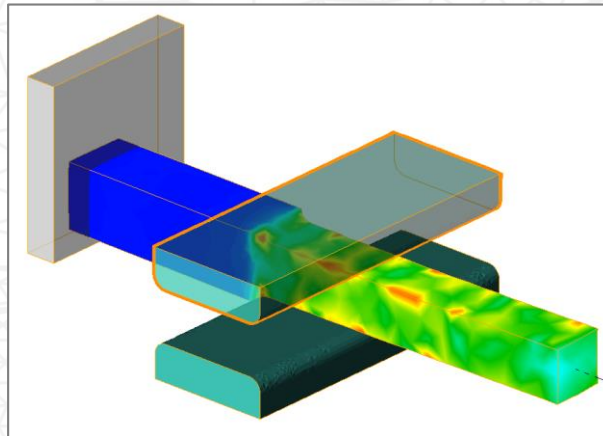
Свести в контакт	не сводить
Инструмент [1]	с отводом назад
Инструмент [2]	с отводом назад до контакта
Трение между инструментами	без отвода
	не сводить

Протяжка

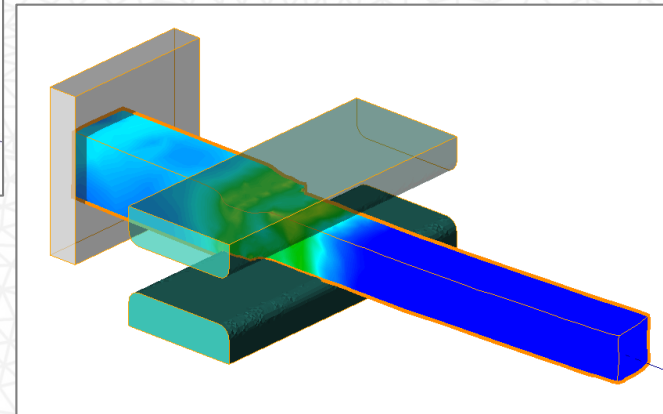
1. и 2. проходы:
распределение температуры



3. и 4. проходы:
распределение пластической деформации



5. и 6. выносы:
распределение интенсивности напряжений



Реверсивная формовка

Распределение линейной скорости вдоль OZ:

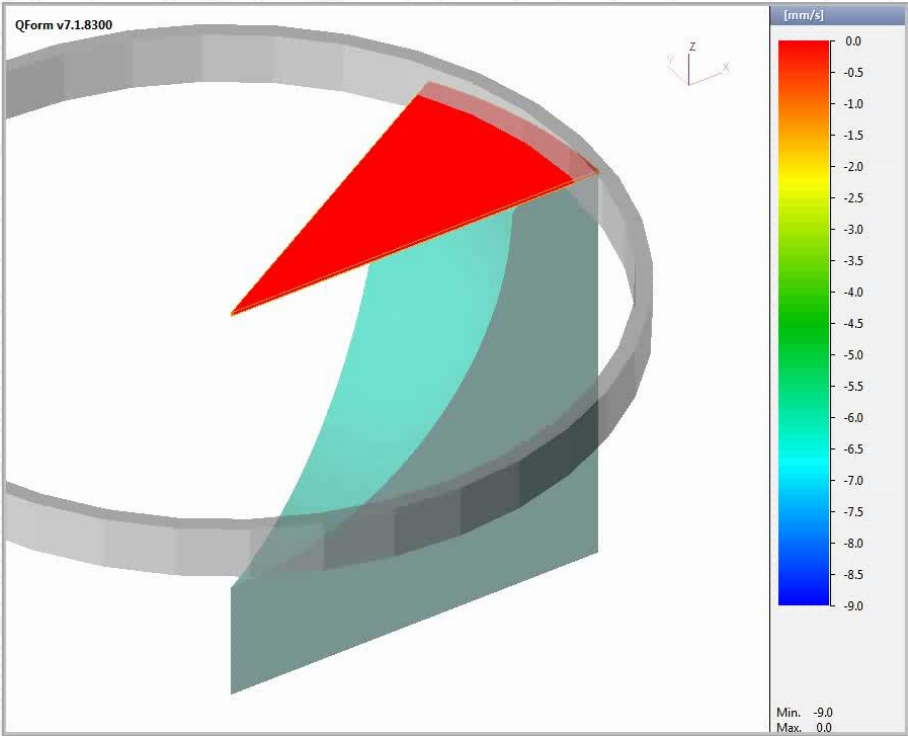
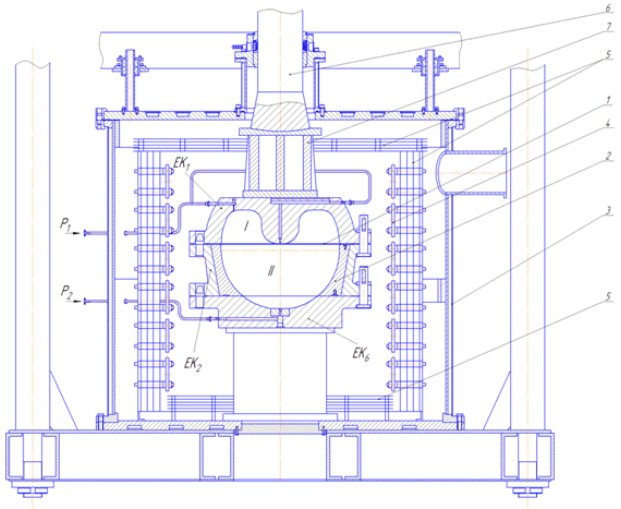


Схема процесса:



С разрешения
МГТУ «МАМИ»



Деформация нескольких заготовок

Заклепка длиной 3.2 мм:



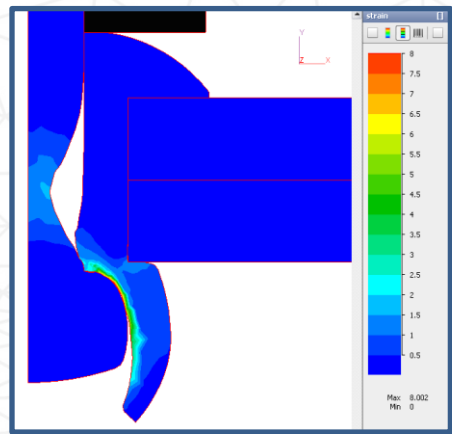
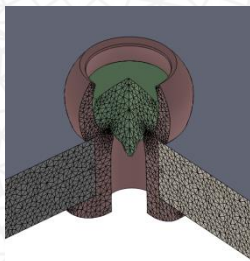
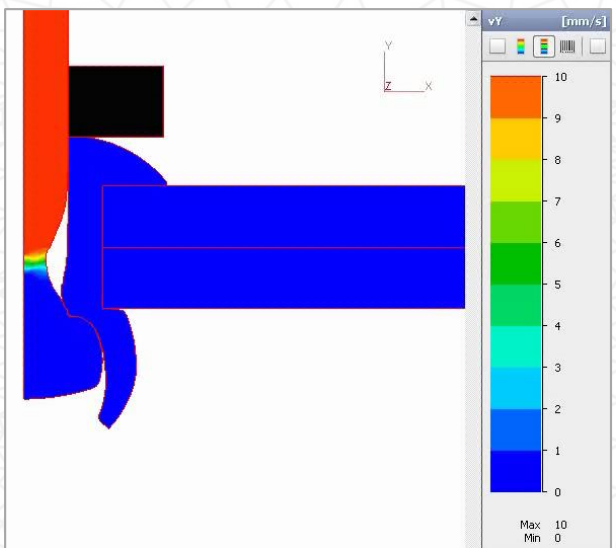
Заклепка из алюминия

Сердечник из стали

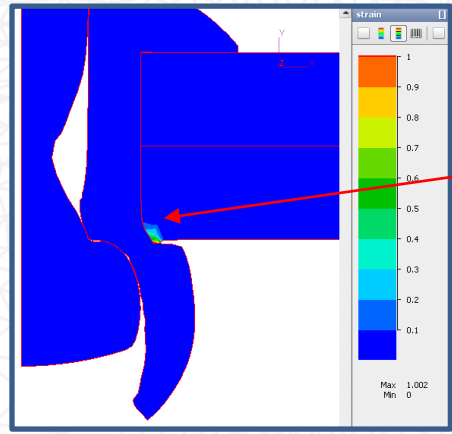
Деформированная заклепка:



Результаты моделирования:



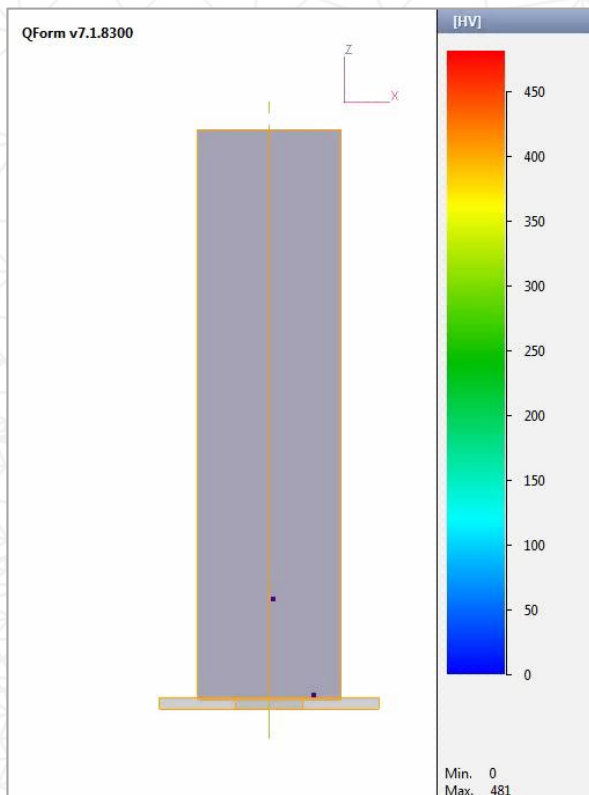
Деформация заклепки и сердечника для скрепления листов. **Вариант 1.** Листы из стали.



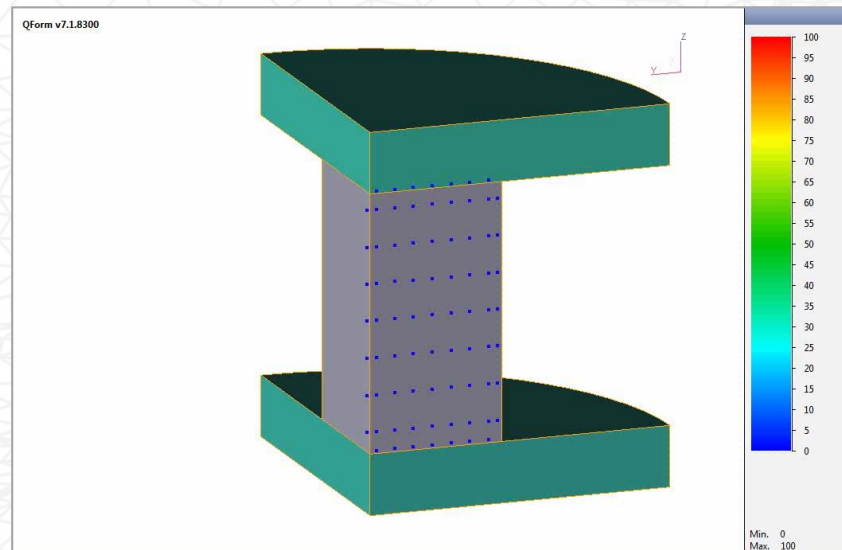
Вариант 2. Листы из алюминия. Наблюдается локальная деформация.

Термообработка и моделирование микроструктуры

Торцевая закалка. Распределение твердости (HV):

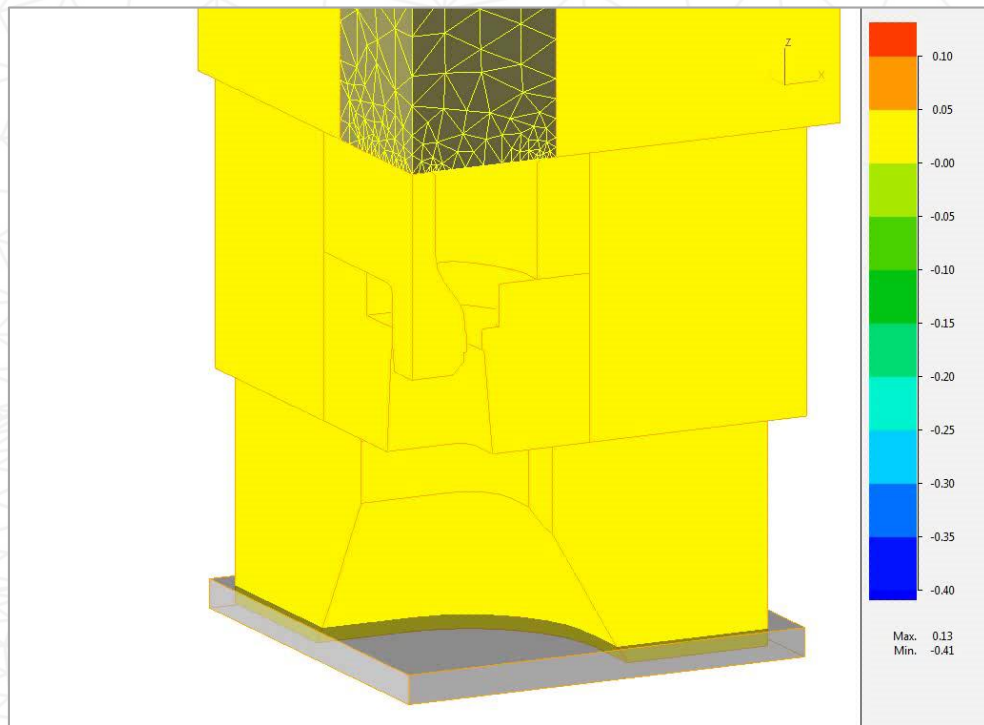


Осадка крупногабаритного слитка.
Распределение среднего размера зерна:

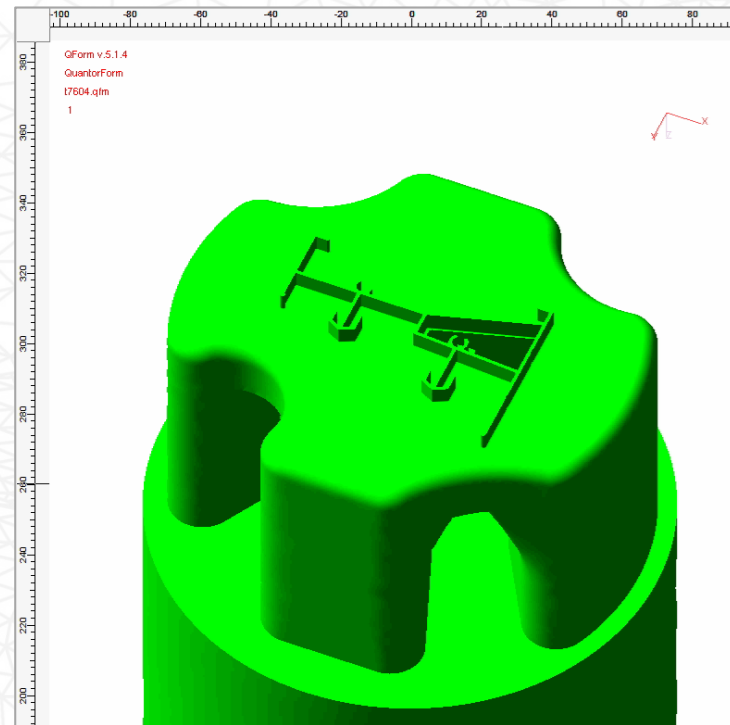


Прессование алюминия

Экструзия в QForm V8:



Экструзия в QForm-Extrusion:



Связанное моделирование при штамповке лопаток

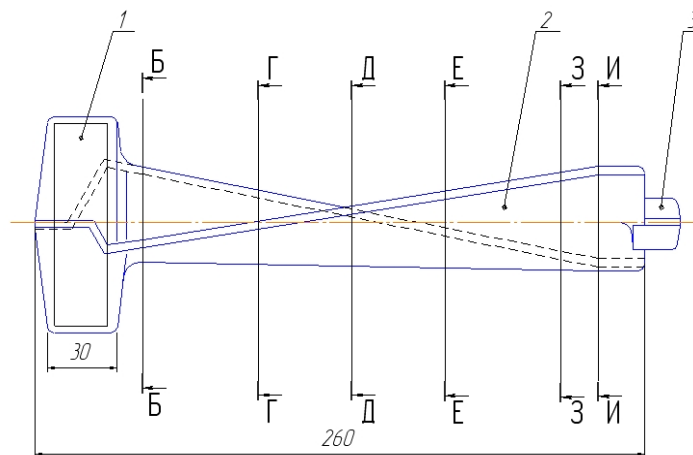
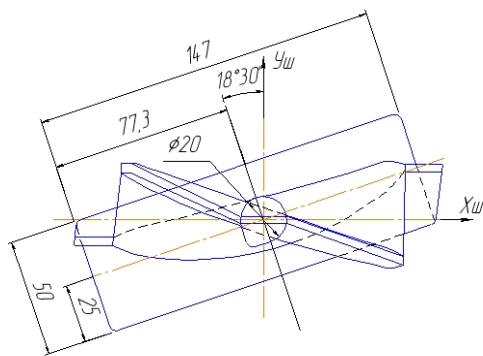
С разрешения ООО «Артом» г. Омск, Россия

Материал лопатки X12CrNiMo12 (1.4939 DIN)

Длина лопатки 260 мм, ширина 130 мм, угол закрутки 31°,

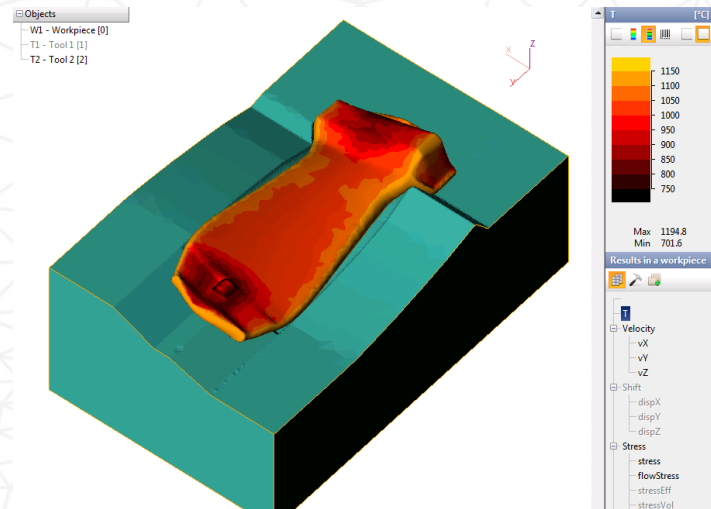
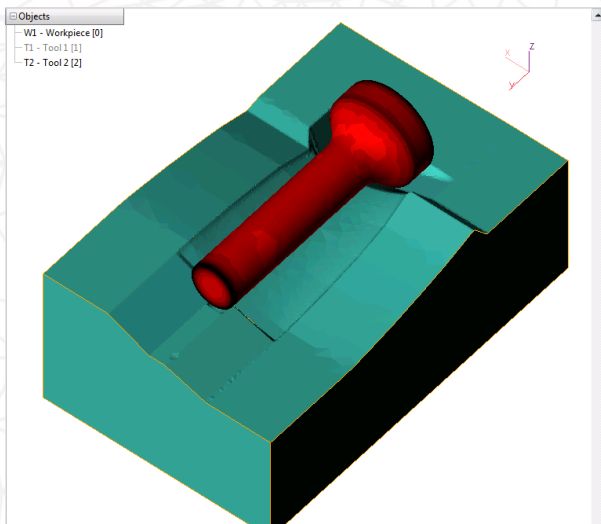
КГШП 40MN, температура нагрева 1150°C ± 10°C.

Интервал штамповки 1150...850°C. Температура подогрева штампов 150°C.

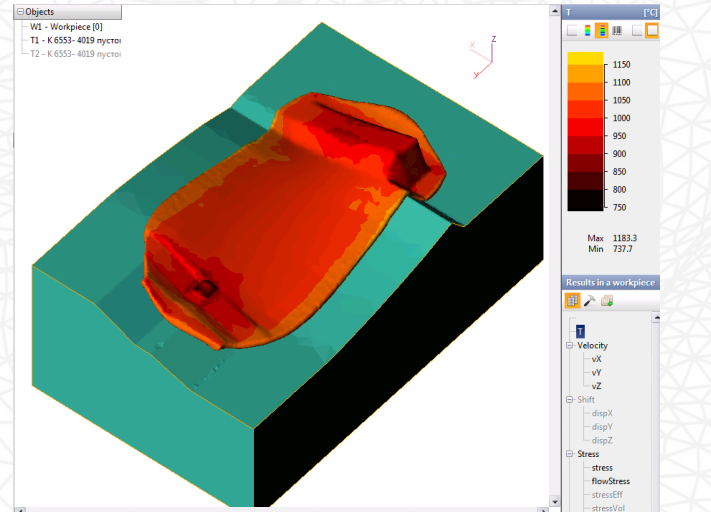
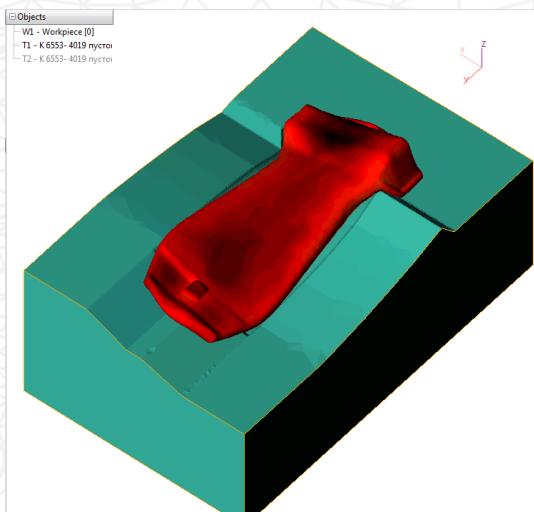


Штамповка в два перехода

Первый переход

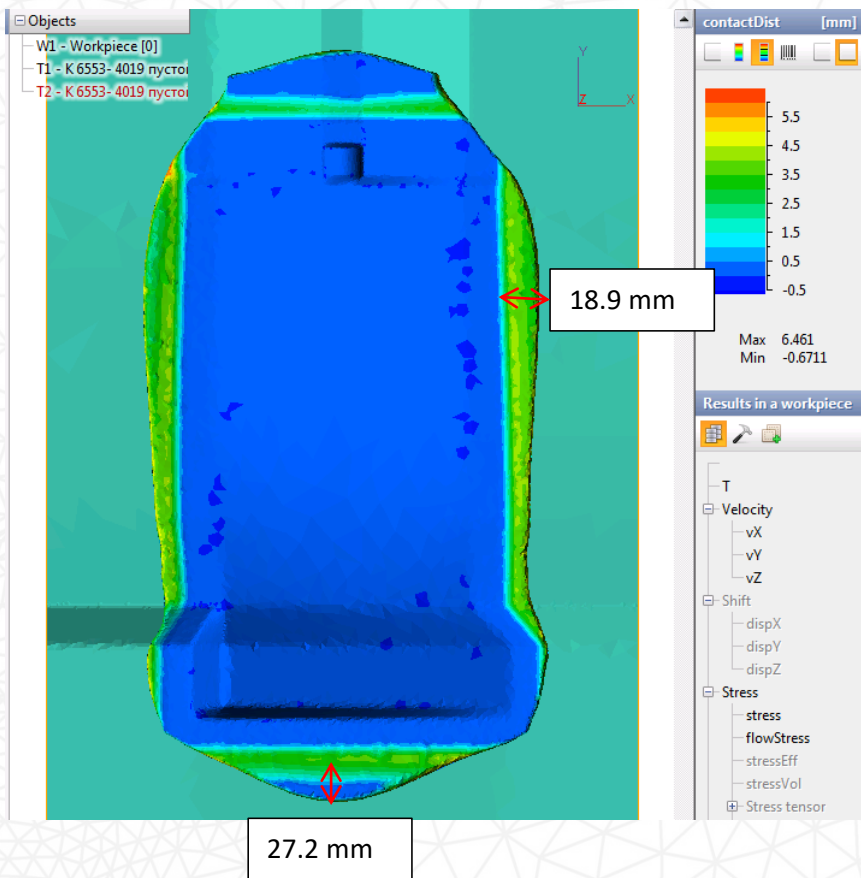


Второй переход

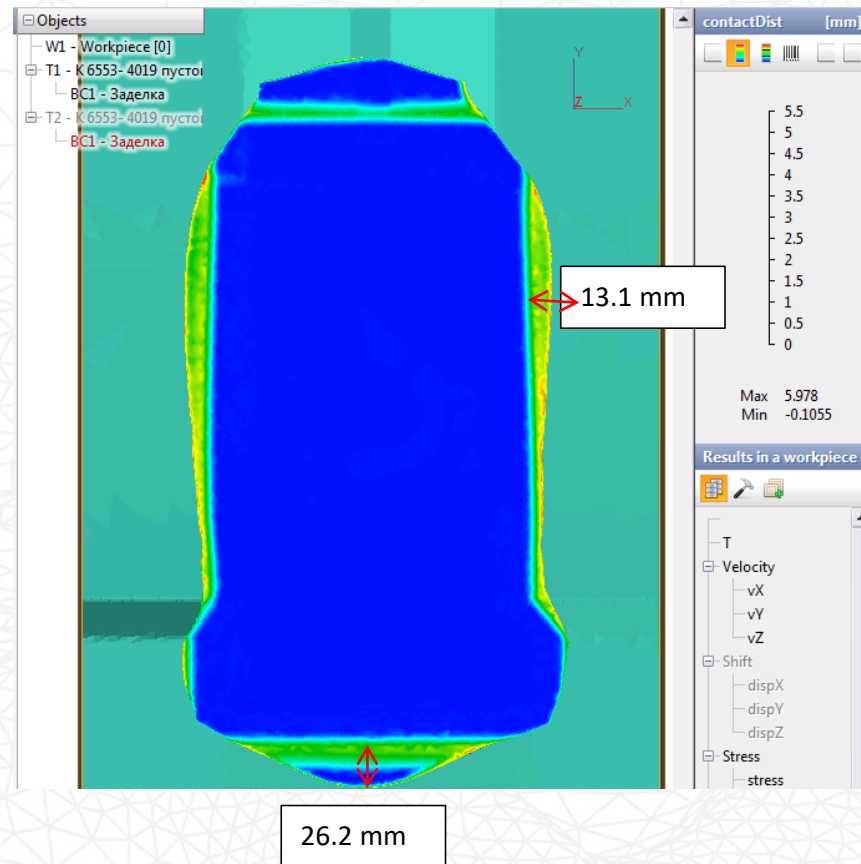


Форма обля в последнем переходе штамповки

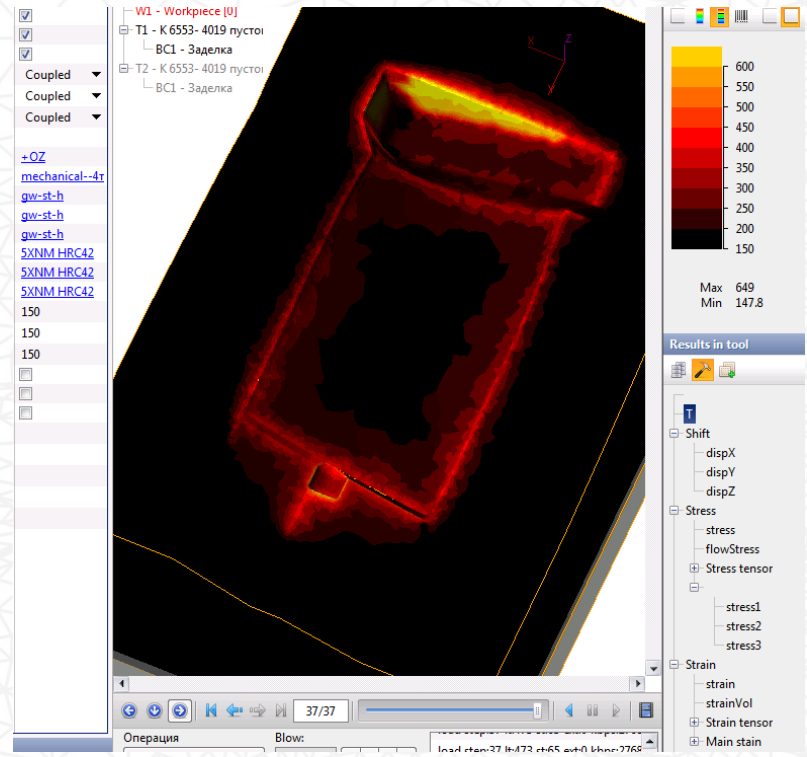
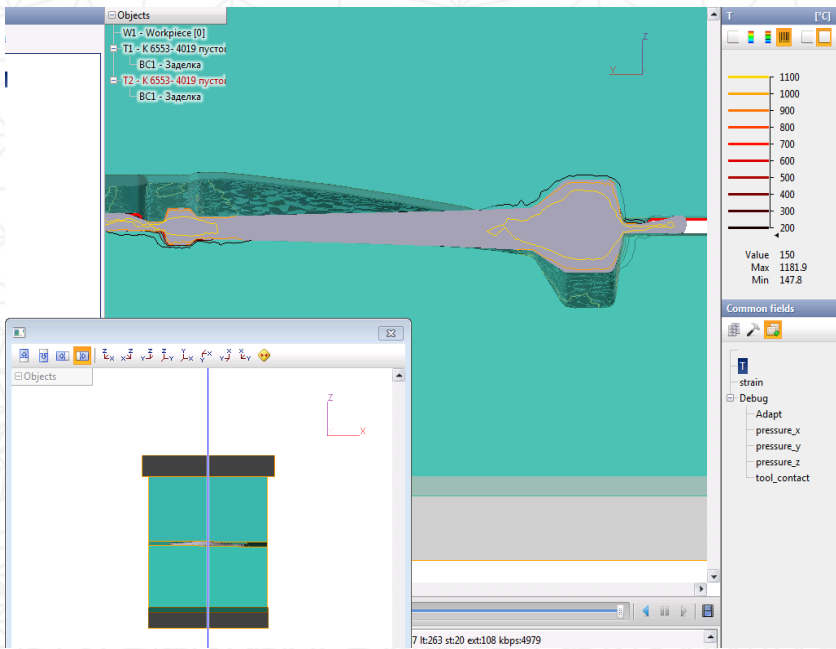
«Жесткий» штамп



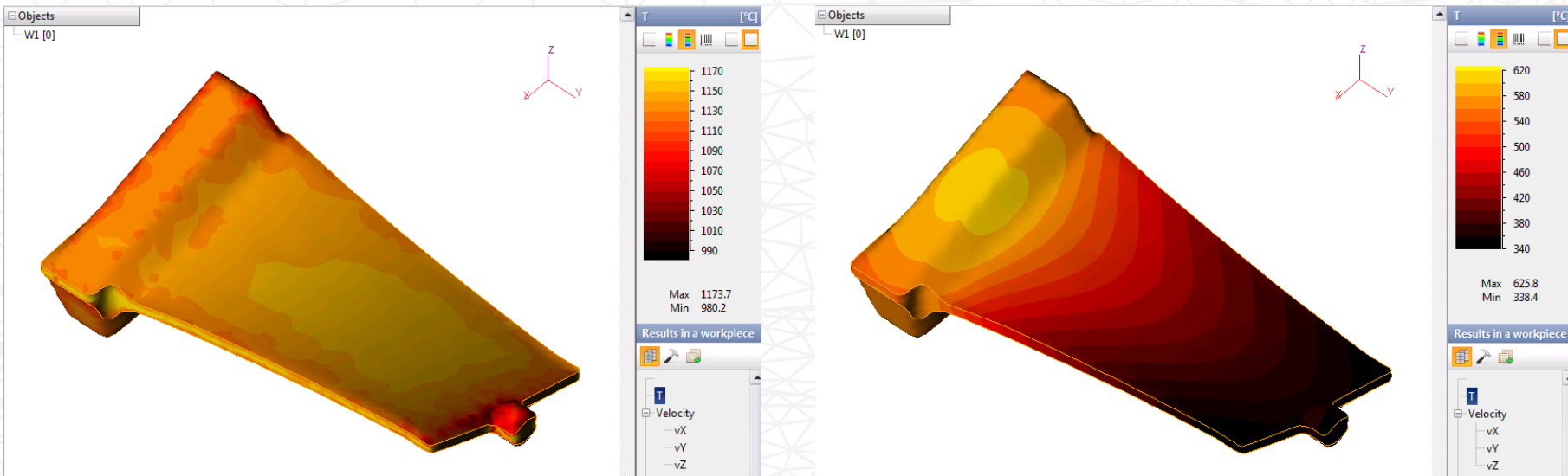
Совместное моделирование



Температура в штампе

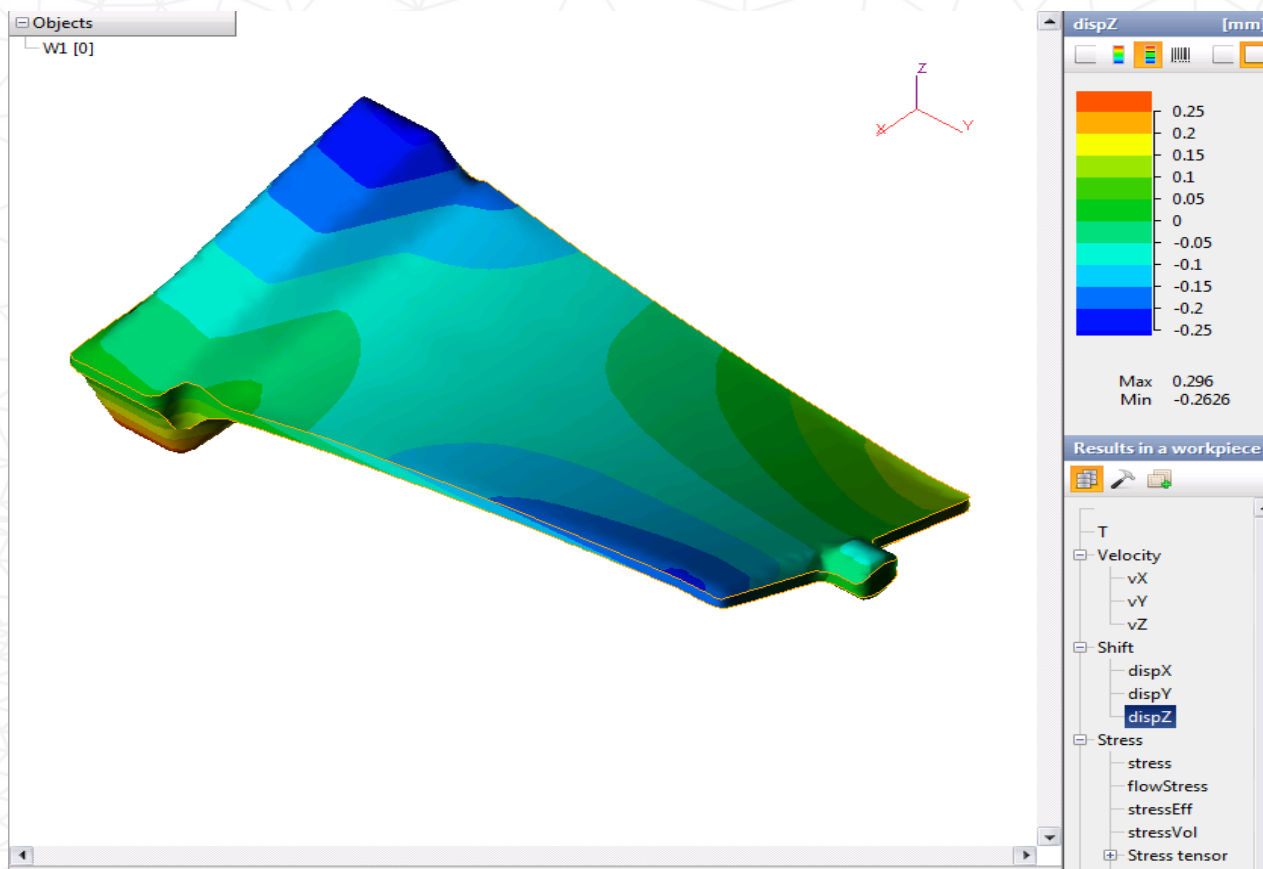


Охлаждение после штамповки 500 сек.



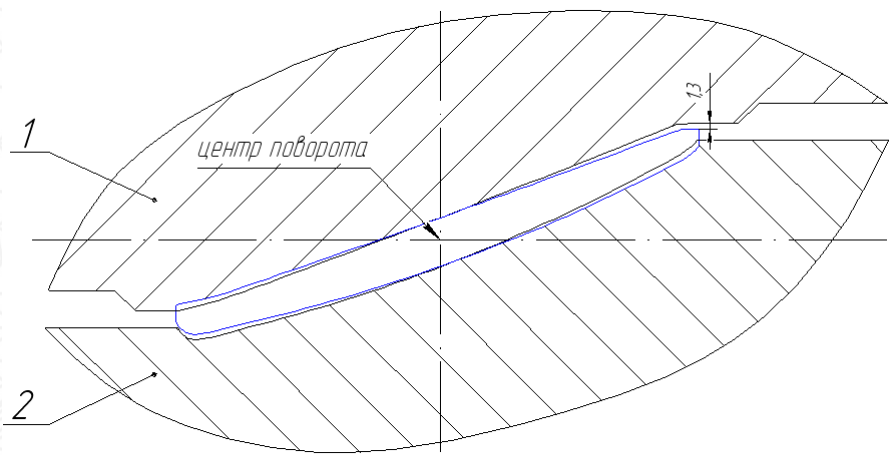
Термо-упруго-пластическая модель материала и расчет фазовых превращений сталей для учета коробления поковки при охлаждении после штамповки

Вертикальные перемещения, мм



Коррекция формы штампа для компенсации коробления

Первоначальная (черный контур) и скорректированная форма штампов (синий контур).
Разница – до 1,3 мм



Вертикальные перемещения, мм

