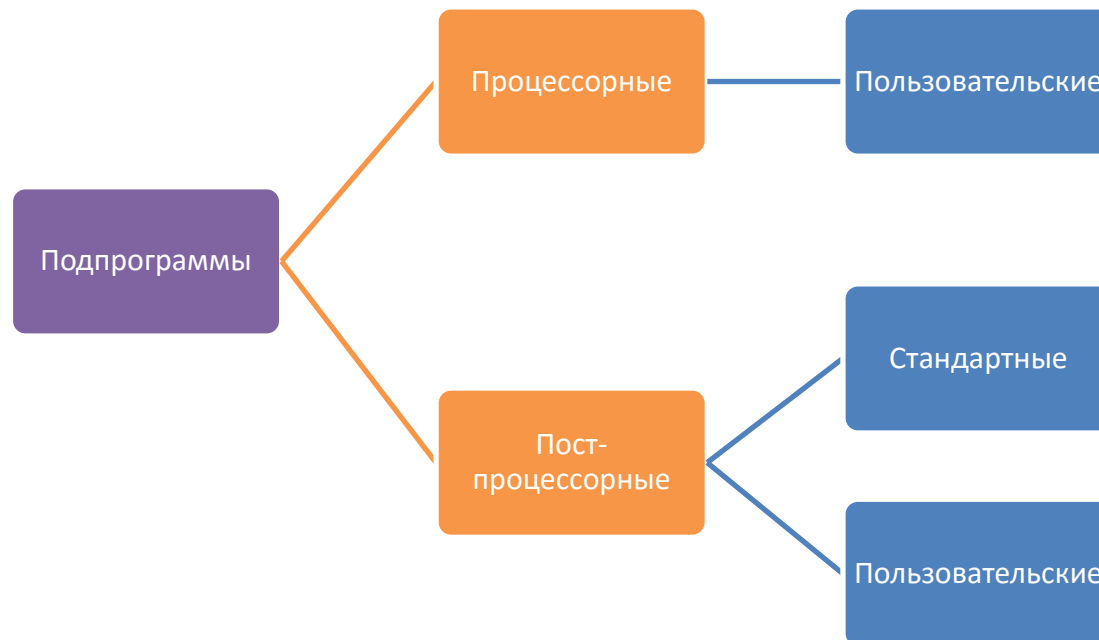


Подпрограммы в QForm

Предназначены:

- Для расчёта некоторых базовых полей только при необходимости (стандартные);
- Для пересчёта базовых полей в производные поля или критерии (пользовательские);
- Для задания произвольной зависимости напряжения текучести от базовых полей или производных критериев (пользовательские).



Пример кода пользовательской подпрограммы. Расчёт параметра Зинера-Холломона

```
1  set_target_workpiece() --в каком объекте рассчитывать
2  -- Коэффициенты энергии активации
3  c1 = parameter("C1", 156000)
4  c2 = parameter("C2", 0)
5  c3 = parameter("C3", 0)
6  R = 8.314 --газовая постоянная
7
8  Zener = result("Zener")
9  LogZenerMax = result("LogZenerMax", -1e30)
10
11 function UserFields (T, strain, strain_rate, prev_LogZenerMax)
12   T_Kelvin = T + 273.15 --конвертирование температуры в Кельвины
13   Q = c1 + c2 * T_Kelvin + c3 * strain --расчёт энергии активации
14
15   z = strain_rate * math.exp(Q/(R*T)) --расчёт параметра Зинера-Холломона
16   lz = math.log(z) --натуральный логарифм. math.log(z, 10) -десятичный логарифм
17   lz_max = math.max(prev_LogZenerMax, lz)
18
19   -- Сохранение параметров в поле QForm
20   store(Zener, lz)
21   store(LogZenerMax, lz_max)
22 end
```

Подпрограммы в интерфейсе QForm

Постпроцессорные подпрограммы

Действия с подпрограммами

Добавленные к расчёту подпрограммы и их свойства

Действия с выбранной подпрограммой

Стандартные подпрограммы

1

2

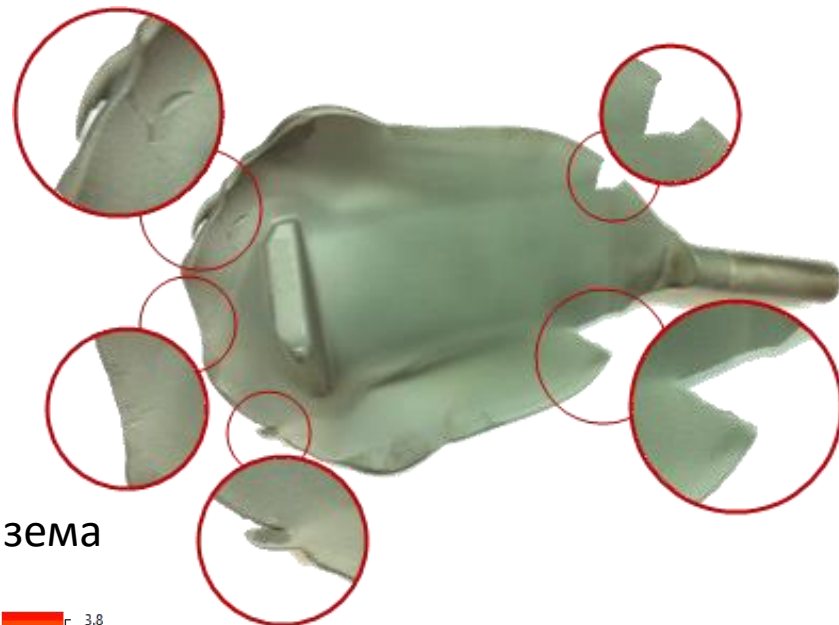
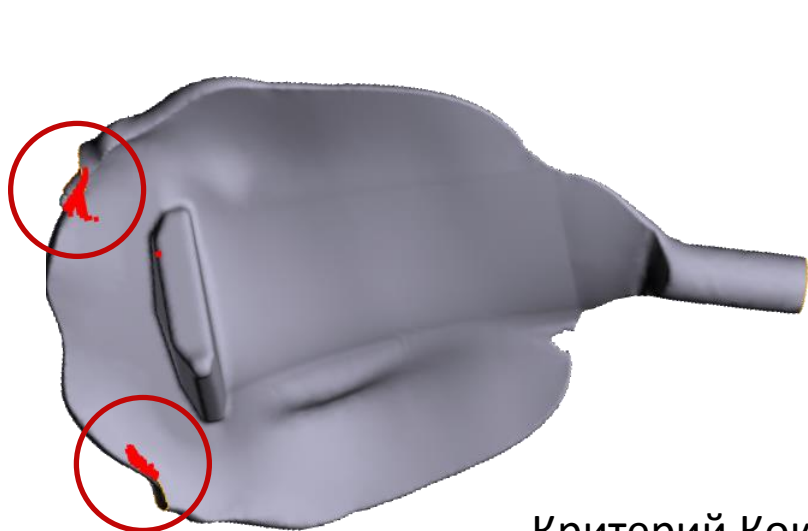
3

Вывод результатов расчёта

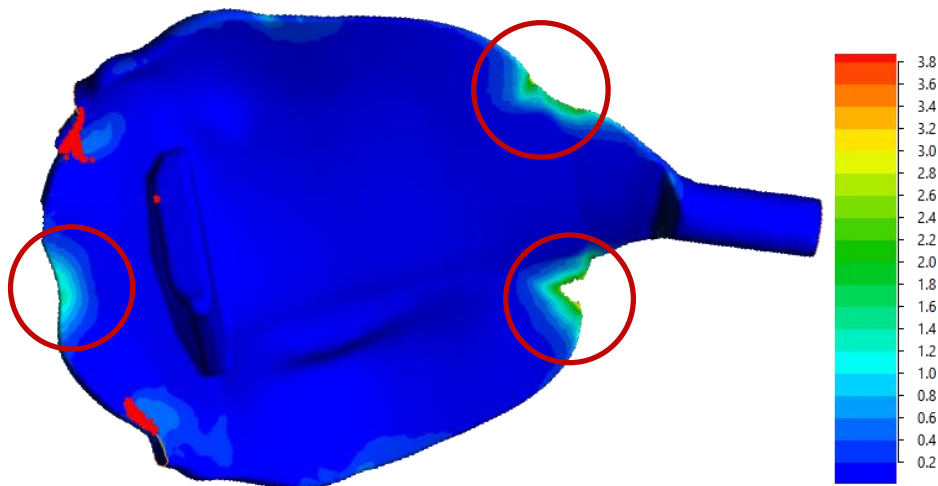
Процессорные подпрограммы загружаются в базе данных деформируемых материалов

Параметры	Значение
A in MPa	50
m1	0.1
m2	0.4
m3	0.02
m4	-0.02
key	1

Пример. Анализ дефектов с помощью критерия разрушения



Критерий Кокрофта-Лейзема



$$Cockcroft = \int \max(\sigma_1, 0) d\varepsilon$$

$$Cockcroft, n = \int \max\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{eff}}, 0\right) d\varepsilon$$

Критерий разрушения Колмогорова

Операции	Подпрограммы
Процесс	Добавить подпрограмму
Геометрия	Добавить стандартную подпрограмму
Параметры заготовки	Выполнить расчет подпрограмм
Параметры инструмента	<ul style="list-style-type: none"> [-] Kolmogorov. Steel 20 (Workpiece) <ul style="list-style-type: none"> [-] Объекты расчета <ul style="list-style-type: none"> Заготовка [-] Параметры <ul style="list-style-type: none"> eta1 -2.4 limit_strain1 2.5 eta2 0 limit_strain2 1.25 eta3 1.2 limit_strain3 0.8 eta4 2.4 limit_strain4 0.5 eta5 -18 limit_strain5 12 [-] Входные поля <ul style="list-style-type: none"> stress_flow stress_mean strain_rate prev_Kolmogorov dt prev_Max_Tension_indicator prev_Min_Tension_indicator [-] Выходные поля <ul style="list-style-type: none"> Kolmogorov dKolmogorov Tension_indicator Limit_strain Max_Tension_indicator Min_Tension_indicator
Условия остановки	Свойства
Граничные условия	
Удары	
Параметры расчета	
Трассируемые точки, линии	
Подпрограммы	

$$\Psi = \int \frac{d\varepsilon}{\varepsilon_{np}(\eta)} < 1; \quad \eta = \frac{3 \cdot \sigma_{ср}}{\sigma_i}$$

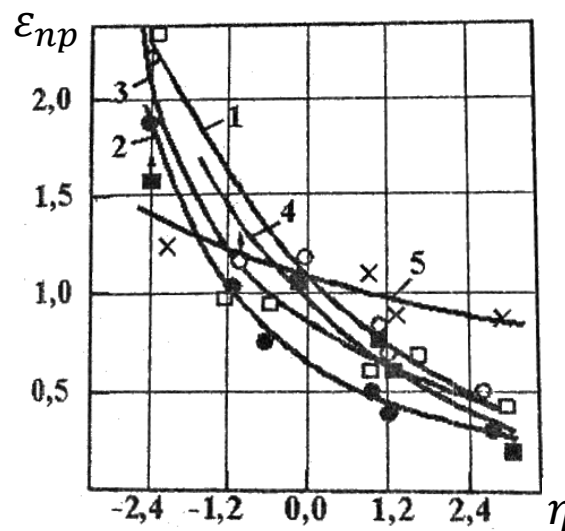
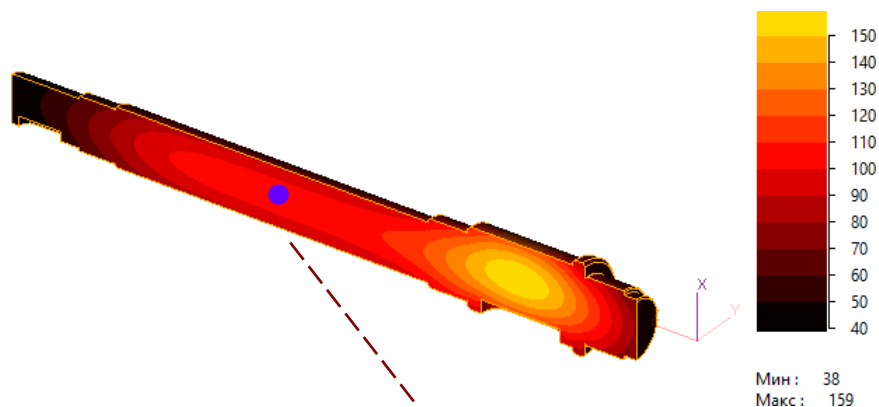


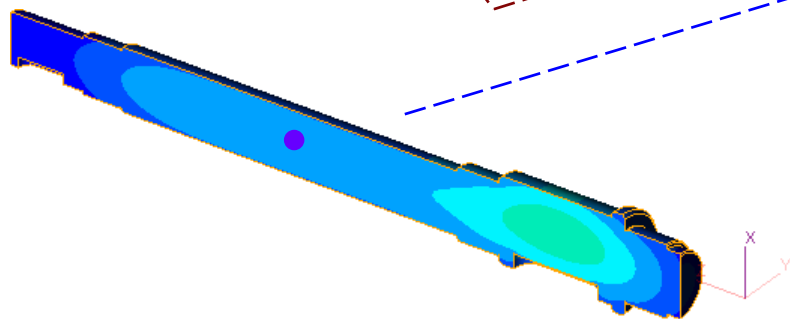
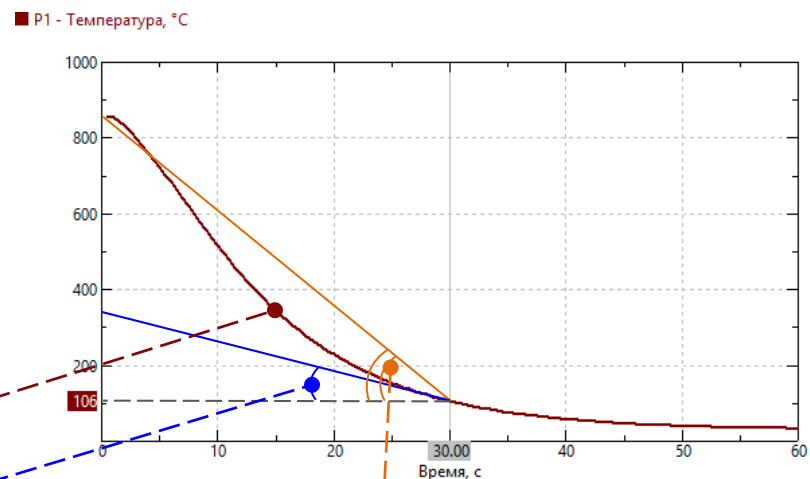
Диаграмма пластичности.
1 – сталь20; 2 – сталь45;
3 – ШХ15; 4 – 30ХГСА;
5 – Х18Н10Т

Пример. Скорость охлаждения

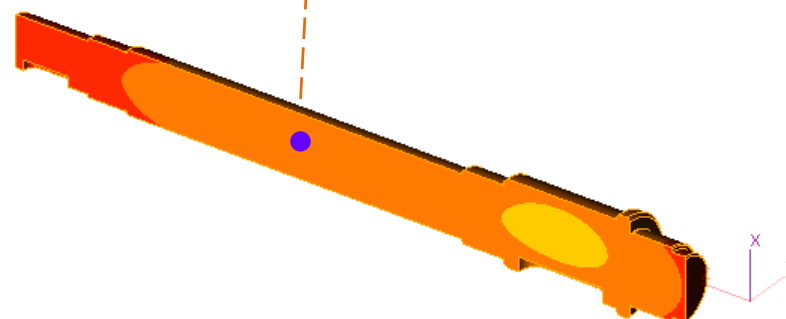
Температура через 30 сек. охлаждения, °C



Зависимость температуры от времени в точке, °C



Текущая скорость охлаждения, °C/сек

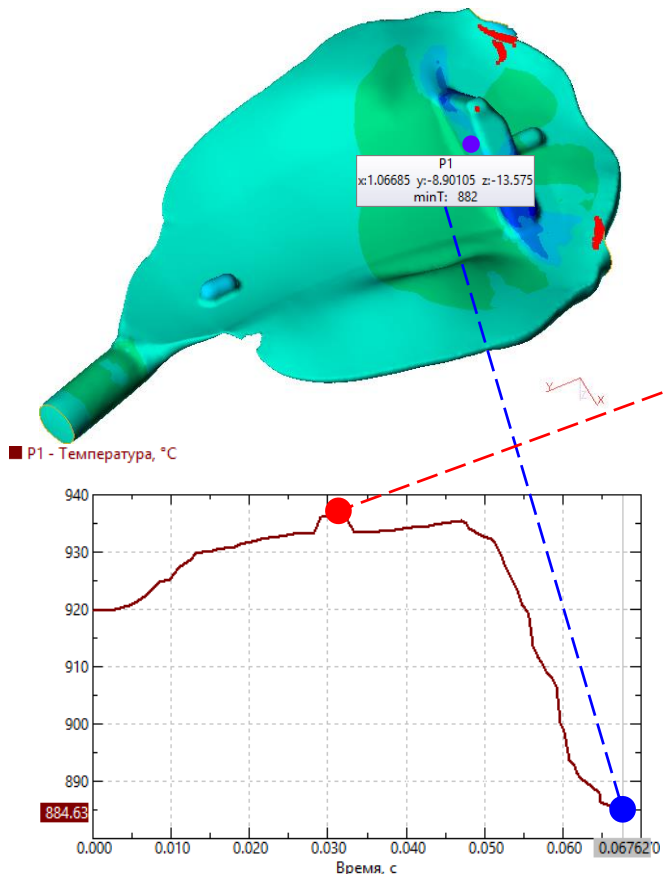


Средняя скорость охлаждения, °C/сек

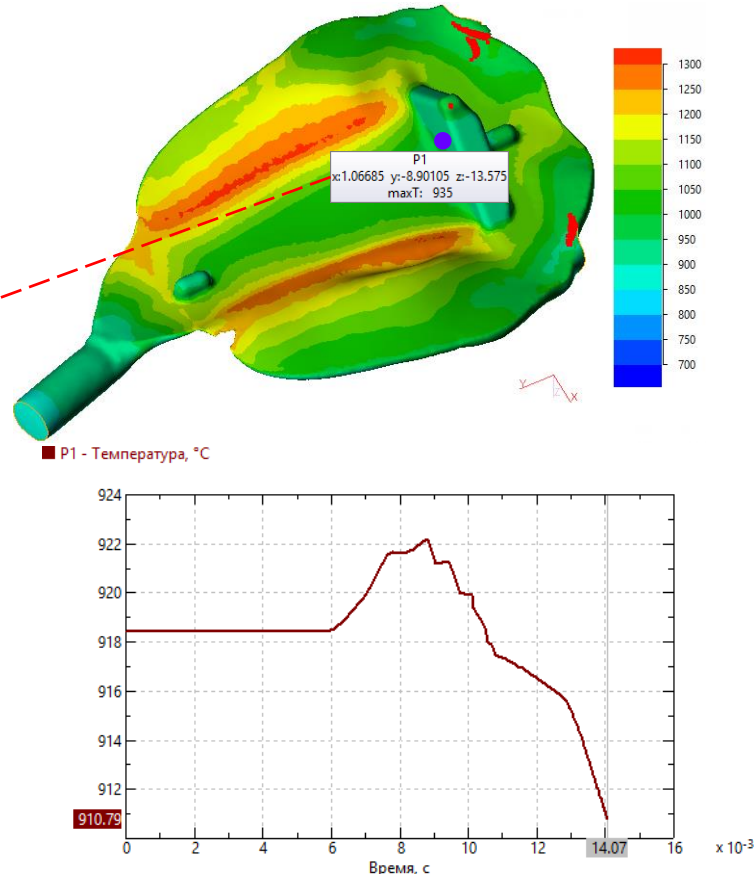
Пример. Анализ зон перегрева и переохлаждения поковки

Минимальная температура за весь процесс, °C

Максимальная температура за весь процесс, °C



Зависимость температуры от времени в точке.
Первый переход

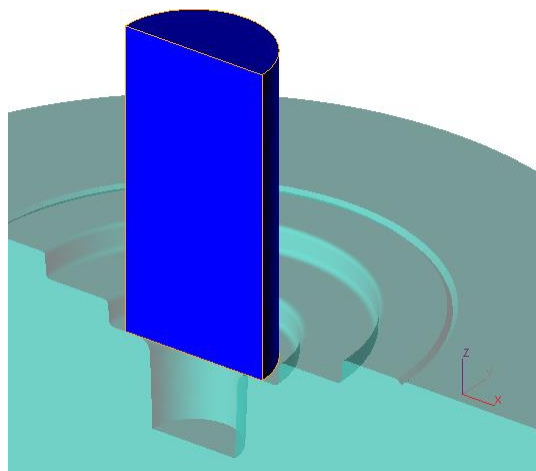


Зависимость температуры от времени в точке.
Второй переход

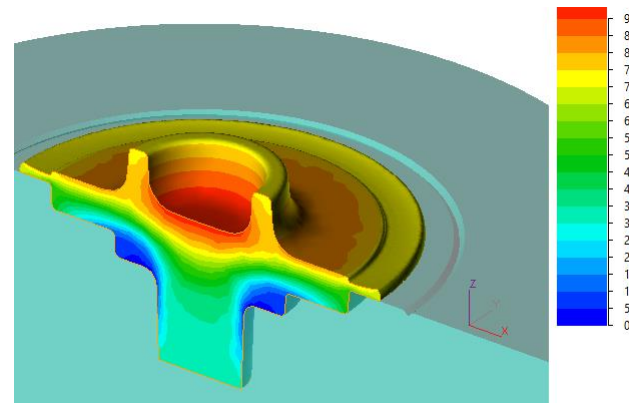
Пример. Анализ перемещения материала относительно исходного положения

Перемещение вдоль
оси OZ, мм

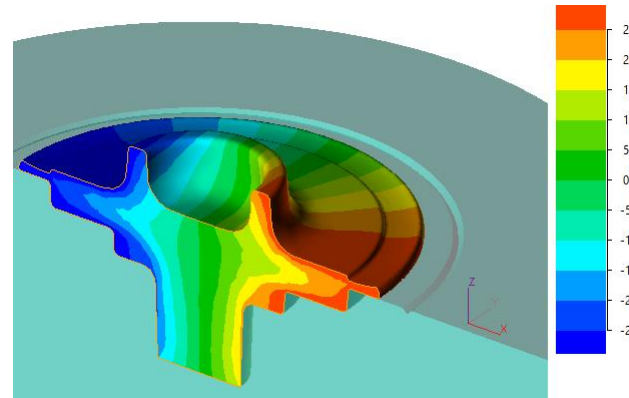
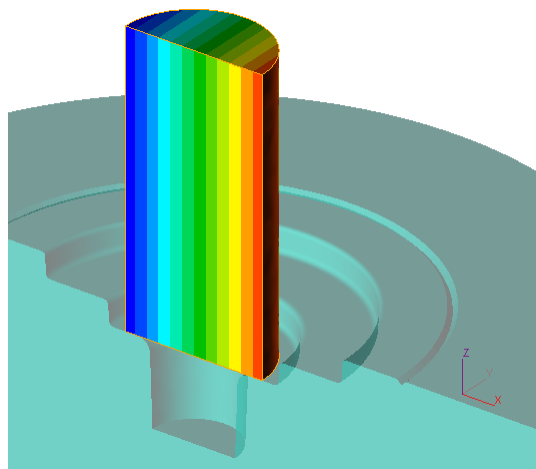
В начале операции



В конце операции



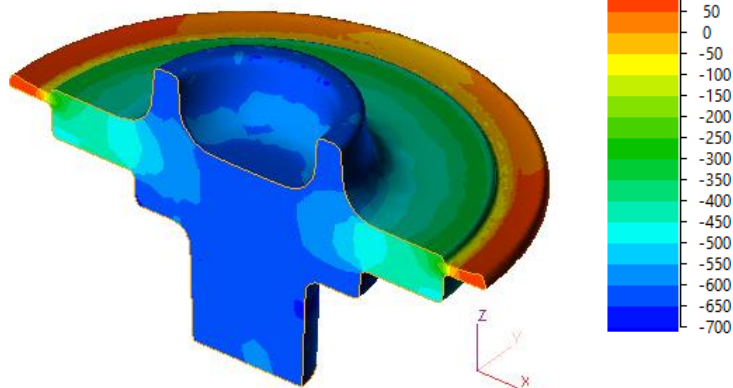
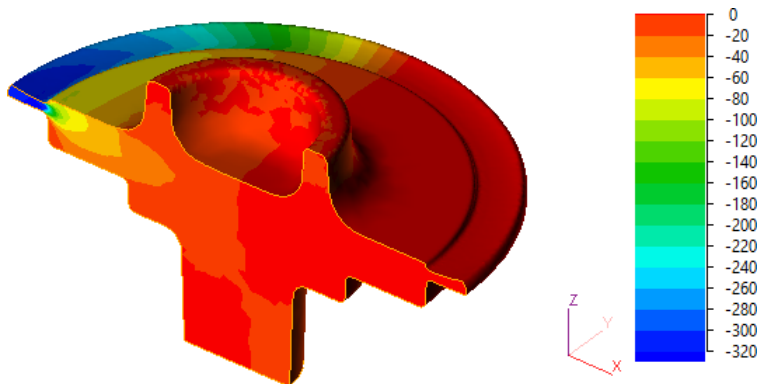
Исходные координаты X, мм



Пример. Представление векторных и тензорных полей в цилиндрической системе координат

Стандартные поля QForm

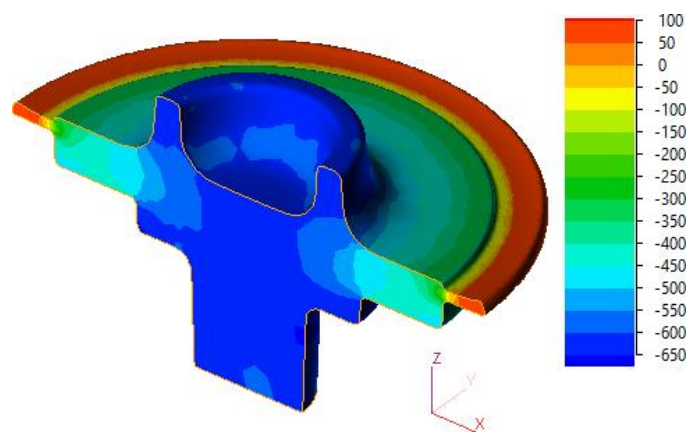
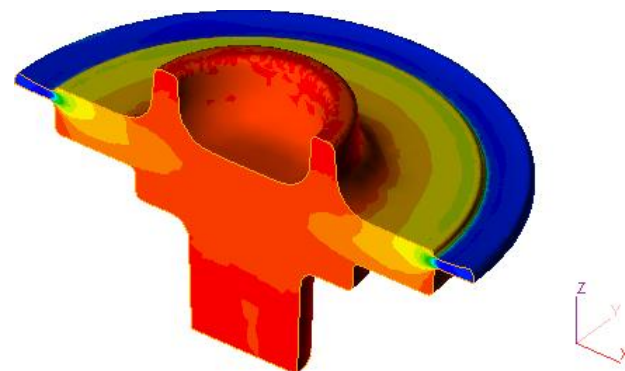
Скорость вдоль оси OX, мм/сек



Напряжения YY, МПа

Рассчитанные при помощи подпрограмм

Радиальная скорость, мм/сек



Тангенциальные напряжения, МПа

Сохранение в файл и чтение из файла средствами Lua

Чтение из текстового файла

```
1  set_target_workpiece()
.  ✂:....
5  file = io.open("Import.txt", "r") --открытие файла для чтения
.  ✂:....
8  function UserFields (✂:...)
.  ✂:  ...
12     file_content = file:read('*all') --получить всё содержимое файла
.  ✂:  ...
17  end
```

Запись в текстовый файл

```
1  set_target_workpiece()
.  ✂:  ...
4  i = io.open("Data_output.txt", "w") --очистка имеющегося файла в папке .data проекта
5  f = io.open("Data_output.txt", "a") --открытие файла для дозаписи
6
7  function UserFields (✂:...)
.  ✂:  ...
10     f:write ('Output data' .. ' мм', '\n') --запись строки в файл
.  ✂:  ...
14  end
```

Пример. Постпроцессорная подпрограмма

Задание напряжения текучести формулой

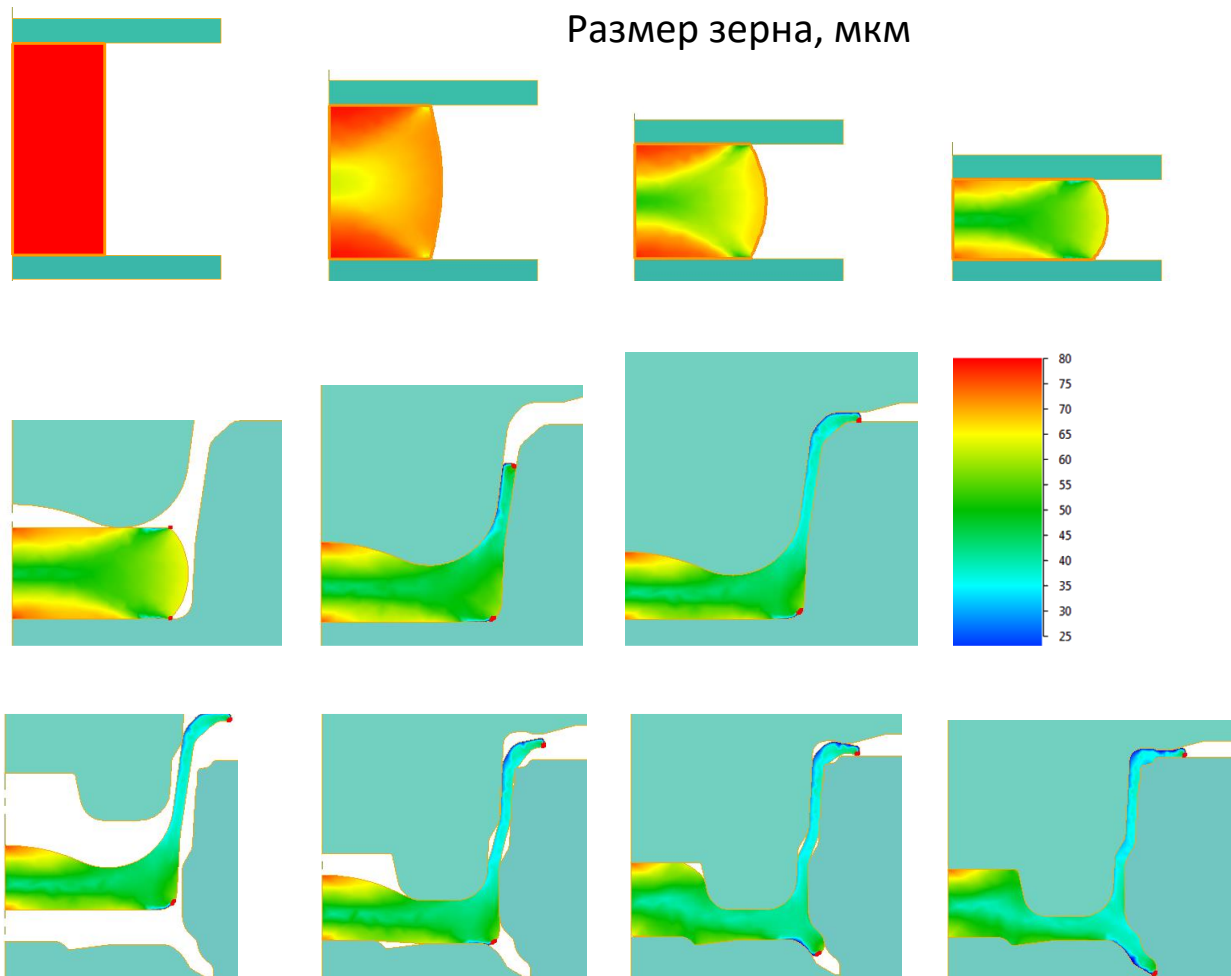
```
.
8 key = parameter("key", 1)
9
10 pow = math.pow
11 exp = math.exp
12
13 function UserFields (dt, t, prev_strain_rate, prev_strain_my)
14     if t == 0 then
15         store (strain_my, prev_strain_my)
16     else
17         strain_my_current = prev_strain_my + 0.1 * (prev_strain_rate * dt) --10% от приращения деформации
18
19         store (strain_my, strain_my_current)
20     end
21 end
22
23 function FlowStress (T, strain, strain_rate, strain_my)
24     if key == 0 then
25         s = strain
26     else
27         s = math.max(strain_my, 0.04) --защита от нулевого напряжения текучести
28     end
29
30     F = A * exp(-m1 * T - m4 * s) * pow(s, m2) * pow(strain_rate, m3)
31
32     return F
33 end
```

Пример. Учёт микроструктуры металлов при деформировании

$$\sigma = A \dot{\epsilon}^m \exp\left(\frac{Q}{RT}\right) \left(\frac{D}{d_0}\right)^k$$

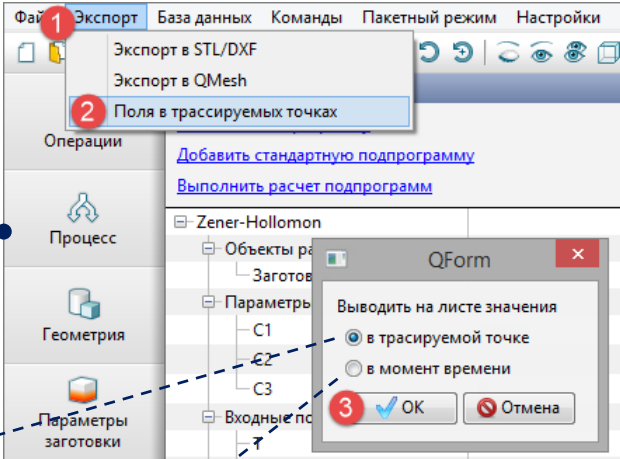
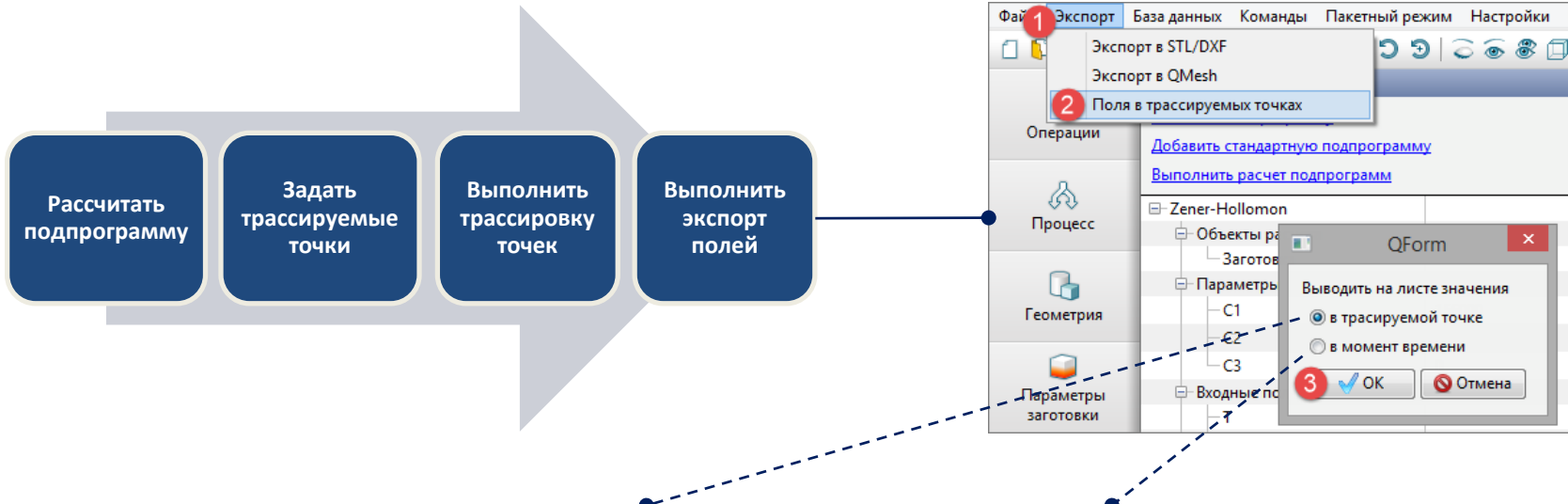
A , m , Q и k – динамические константы. Для каждого температурно-скоростного режима свой набор констант;
 D , d_0 – текущий и начальный размеры зерна

- Плоская осесимметричная задача
- Материал **Ti-6Al-4V**,
- Начальный обобщенный размер зерна **80 мкм**
- Изотермическая задача $T = 900\text{ }^\circ\text{C}$



Экспорт полей в трассируемых точках в XLS- файлы

Последовательность действий



	J	K	L	M	N	O	P
1	Среднее на	Пластически	Интенсивно	Скорость де	Минимальн	Дистанция	Zener (Zener-Hollomon)
2	-6.6532046	0	25.2329789	0.03008399	7.760	4505	10.434847
3	-12.204891	7.2513E-06	31.5801012	0.1524372	7.76050		10.434847
4	-13.217155	5.5381E-05	34.2835397	0.27307263	7.7596006		10.434847
5	-14.932800	0.00000000	37.004463	0.50069057	7.7596006		12.04189572
6	-16.257	0.00000000	39.66979	0.88594446	7.7596006		12.61371421
7	-17.286	0.00000000	42.04033	1.64101833	7.7596006		13.23078137
8	-18.95519	0.01062058	44.8382025	3.99982044	7.75960048		14.1219235
9	-19.644292	0.0194780	47.820205	7.75960048	10.434847		14.51009195
10	-21.037655	0.0385500	51.000000	7.75960048	10.434847		14.82211202
11	-22.613496	0.0771548	55.000000	7.75960048	10.434847		14.89322986
12	-23.761061	0.10847397	60.000000	8.72669735	7.75960048		14.89343537

	J	K	L	M	N	O	P
1	Температура	Среднее +	Пластически	Интенсивно	Скорость	Минимальн	Дистанция
2	1200	-6.6532	0	25.23298	0.030084	7.760505	10.43485
3	1200	1.994255	0	22.236	0.013881	12.041895	10.43485
4	1200	-55.4144	0	60.73598	22.92641	14.020202	10.43485
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							

На листе рассчитанные поля на каждом шаге в конкретной трассируемой точке

На листе рассчитанные поля во всех точках для конкретного времени процесса

Нововведения в следующей версии

- Компоненты тензора напряжений и деформаций доступны для процессорных подпрограммах
- Новые переменные

Переменная	Описание	Ед. измерения
record_id	Номер текущей записи	—
node_id	Номер узла КЭ сетки	—
volume	Удельный объём на узел	м ³

- Доступ в подпрограммах к полям, импортированным из UNV или NTL файлов

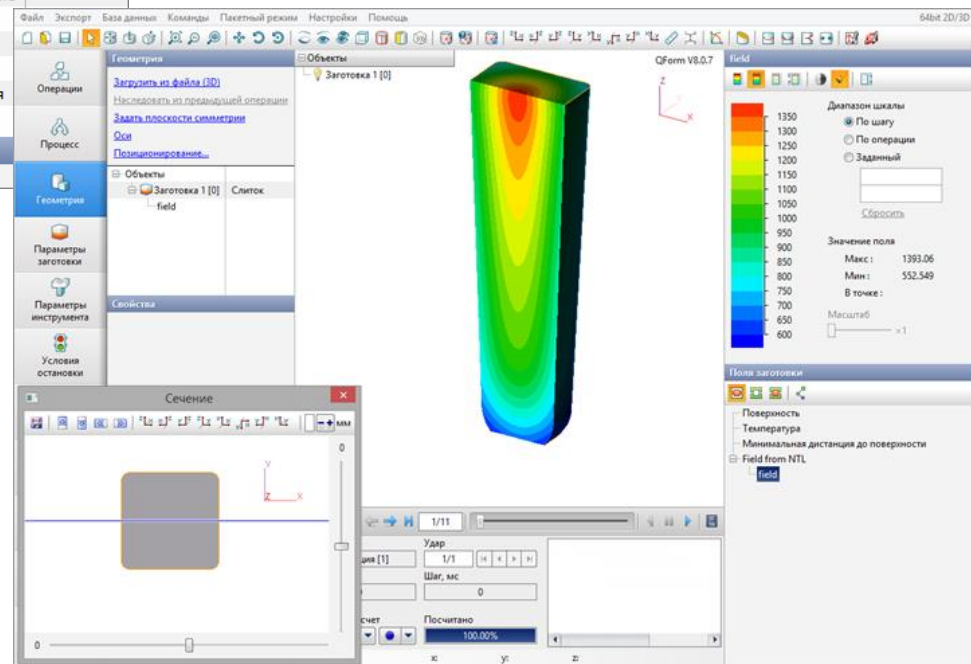
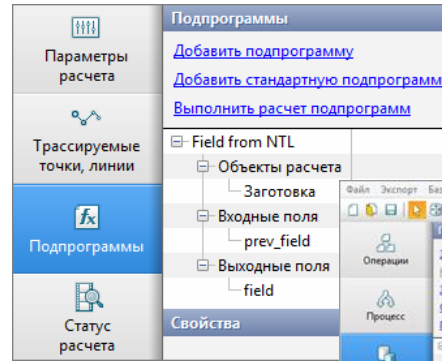
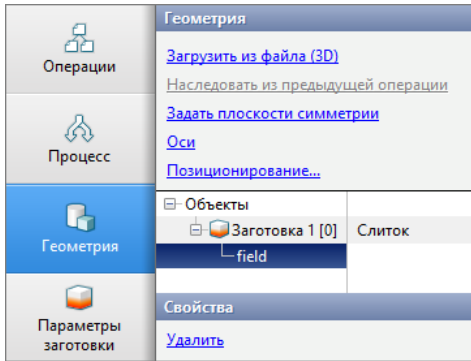
Работа с полями, загруженными из UNV или NTL-файлов

Последовательность действий

Импортировать поле из UNV или NTL-фала

Импортировать подпрограмму

Выполнить расчёт подпрограммы



Код пользовательской подпрограммы

```

1 set_target_workpiece ()
2
3 field = result ("field")
4
5 function UserFields (prev_field)
6     store(field, prev_field)
7 end
    
```